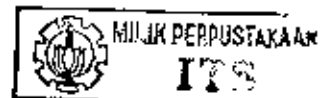


18.908/ITS/H/2003



TUGAS AKHIR (LI 1703)

**PENELITIAN**

**STUDI PENENTUAN  
KAPASITAS OKSIGEN OPTIMUM  
PADA PROSES NITRIFIKASI  
DENGAN PROSES LUMPUR AKTIF**



RSL  
628.354  
Dew  
5-1  
1994

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	14-4-2003
Terima Dari	HL
No. Agenda Prp.	27476

Oleh :

Kadek Ayu Susiani Dewi

3883388149


**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
1994**

**STUDI PENENTUAN  
KAPASITAS OKSIGEN OPTIMUM  
PADA PROSES NITRIFIKASI  
DENGAN PROSES LUMPUR AKTIF**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik Lingkungan  
Pada  
Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya**

**Mengetahui / Menyetujui**  
**Dosen Pembimbing**

The image shows an official circular stamp of Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) on the left, featuring the university's logo and name. To the right of the stamp is a handwritten signature in black ink.

**Dr. Ir. WAHYONO HADI, M.Sc**

**NIP. 130 805 286**

**SURABAYA  
AGUSTUS, 1994**

## ABSTRAK

Nitrifikasi pada lumpur aktif adalah suatu proses oksidasi ammonium menjadi nitrit dan nitrat secara biologis oleh aktivitas bakteri autotroph pada kondisi aerobik.

Pada proses pengolahan limbah secara aerobik, khususnya lumpur aktif, oksigen mutlak ada dengan konsentrasi minimum 2 mg/l, karena oksigen merupakan suatu elektron akseptor untuk metabolisme sel bakteri.

Didasarkan atas hal tersebut di atas, maka di dalam Tugas Akhir ini dilakukan studi penelitian untuk mendapatkan kebutuhan oksigen optimum pada proses Nitrifikasi dengan lumpur aktif serta mempelajari kemampuan mikroba dalam menerima transfer oksigen pada berbagai debit udara.

Model instalasi yang dipergunakan pada penelitian ini adalah suatu model Continuous Flow Reaktor (Mixed Reaktor) skala laboratorium yang terdiri dari satu buah tangki aerasi, satu buah clarifier dan satu buah pipa resirkulasi menuju ke reaktor, serta sebuah bubble aerator sebagai suplier oksigen.

Reaktor dioperasikan dengan memvariasikan debit udara yang masuk ke dalam reaktor sebesar 4 l/menit, 6 l/menit dan 10 l/menit serta melakukan variasi BOD:N:P = 100:5:1, 100:10:1 dan 100:20:1, dengan nilai BOD tetap yaitu sebesar 100 mg/l. Waktu detensi di reaktor adalah 4.33 jam, dengan debit influent sebesar 10 ml/menit dan umur lumpur 12 hari.

Sampel yang dipergunakan adalah sampel buatan, yaitu dengan menggunakan  $\text{NH}_4\text{Cl}$  sebagai sumber N,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  sebagai sumber phosphor serta glukosa sebagai sumber BOD.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi penghilangan senyawa ammonium terbaik terjadi pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 yaitu sebesar 70 %, dengan debit udara yang dibutuhkan adalah sebesar 10 l/menit. Sedangkan efisiensi nitrifikasi terbaik terjadi pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 yaitu sebesar 65 % dengan debit udara yang dibutuhkan adalah sebesar 10 l/menit. Pada penelitian secara Batch Process diperoleh bahwa pengambilan oksigen oleh mikroorganisme berlangsung sangat cepat pada saat aerasi berlangsung selama 4 jam dan mencapai keadaan steady / tunak pada saat aerasi berlangsung selama 6 jam pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1. Sedangkan untuk perbandingan BOD:N:P = 100:10:1 dan 100:20:1, keadaan tunak tercapai saat aerasi berlangsung selama 12 jam.

Lingkungan, yang telah banyak membantu kelancaran pelaksanaan Tugas Akhir ini.

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Tontowi Ismail, MSc, yang telah banyak memberikan masukan-masukan kepada penulis, kepada Bapak Ir. Agus Slamet selaku Dosen Wali yang memberikan dorongan semangat, juga kepada Bapak Ir. Joni Hermana Budi, MSc, yang telah memberikan masukan-masukan yang berharga bagi penulis serta Bapak Ir. Gogh Yudihanto, MSc, terima kasih atas saran-sarannya.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Ir. J B. Widiadi, yang telah memberikan fasilitas laboratorium dan segala kelengkapannya.

Rekan Fithriya dan Susi, terima kasih atas kerjasamanya, perhatian, kritikan dan masukan-masukannya selama kita bertiga melakukan penelitian ini, walaupun kita sering berselisih paham karenanya, hanya rasa saling pengertianlah yang menyebabkan ikatan di antara kita bertiga masih kuat terjalin.

Buat Zaldy, Donny, Darwis, Dikdik dan Purnama, hanya rasa terima kasih yang tulus yang bisa penulis sampaikan atas bantuan serta doanya, pada saat penyusunan sampai Tugas Akhir ini selesai.

Buat rekan Nunung, Kamim, Deva, Subchan, Ery dan Muchtasor, terima kasih atas kebersamaan dan bantuannya selama kami bertiga melakukan penelitian di Teknik Kimia, ITS.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada mas-mas dan mbak laboran, mas Eko, mas Azhari, mas Afan, mas Hadi dan mbak Nur atas segala kemudahan yang diberikan selama di laboratorium.

Dan penulis tidak dapat melupakan jasa semua rekan yang telah banyak membantu terselesaikannya Tugas Akhir ini, baik secara langsung ataupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata, dengan tidak mengingkari adanya kekurangan pada Tugas Akhir ini, maka segala kritik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

**Surabaya, Agustus 1994**

**(Penulis)**

# D A F T A R   I S I

	halaman
ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GRAFIK.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR ISTILAH.....	xv
<b>BAB I      PENDAHULUAN.....</b>	<b>I - 1</b>
1.1      Latar Belakang Pemilihan	
Masalah.....	I - 1
1.2      Ide Studi.....	I - 2
1.3      Tujuan Penelitian.....	I - 3
1.4      Ruang Lingkup Penelitian.....	I - 4
<b>BAB II     TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>II - 1</b>
2.1      Proses Pembuatan Urea.....	II - 1
2.2      Activated Sludge Process.....	II - 3
2.2.1    Macam-Macam Bentuk Pengolahan...	
Dan Modifikasi Dari Activated..	
Sludge.....	II - 7
2.3      Proses Nitrifikasi Dan .....	
Hal-Hal Terkait.....	II - 9
2.3.1    Umum.....	II - 9
2.3.2    Siklus Nitrogen.....	II - 11
2.3.3    Proses Nitrifikasi.....	II - 12
2.3.4    Faktor-Faktor Yang Berpengaruh..	
Terhadap Proses Nitrifikasi.....	II - 14
2.3.4.1    Pengaruh Temperatur.....	II - 14
2.3.4.2    Pengaruh pH.....	II - 17
2.3.4.3    Pengaruh Waktu Detensi.....	II - 19
2.3.4.4    Pengaruh Oksigen Terlarut.....	II - 20
2.3.4.5    Pengaruh Umur Lumpur.....	II - 23

2.3.4.6	Pengaruh Resirkulasi.....	II - 26
2.4	Kinetika Proses Nitrifikasi.....	II - 27
2.5	Aerasi Dan Gas Transfer.....	II - 30
2.5.1	Umum.....	II - 30
2.5.2	Teori-Teori Gas Transfer.....	II - 31
2.5.2.1	Teori Film.....	II - 31
2.5.2.2	Teori Penetrasi.....	II - 32
2.5.2.3	Film-Surface Renewal Theory...	II - 33
2.5.3	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi. Kelarutan Gas Dalam Air.....	II - 33
2.5.3.1	Konsentrasi Gas Pada Kelarutan.....	II - 33
2.5.3.2	Temperatur.....	II - 34
2.5.3.3	Impurities / Konstituent.....	II - 35
2.5.4	Diffusi.....	II - 36
2.5.5	Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi. Transfer Oksigen.....	II - 37
2.5.5.1	Konsentrasi Kejenuhan Oksigen.	II - 37
2.5.5.2	Pengaruh Temperatur.....	II - 39
2.5.5.3	Karakteristik Air Limbah.....	II - 40
2.5.5.4	Pengaruh Turbulensi.....	II - 43
2.5.6	Kecepatan Transfer Oksigen.....	II - 45
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	III - 1
3.1	Kerangka Penelitian.....	III - 1
3.2	Tahapan Penelitian.....	III - 2
3.2.1	Model Instalasi Pengolahan.....	III - 2
3.2.2	Pembenihan Dan Aklimasi..... Mikroba.....	III - 4
3.2.3	Komposisi Air Limbah Untuk..... Feeding.....	III - 4
3.2.4	Kondisi Operasional.....	III - 5
3.2.5	Parameter Yang Dikontrol.....	III - 6
3.2.6	Parameter Yang Dianalisa.....	III - 6
3.2.6.1	Chemical Oxygen Demand.....	III - 6
3.2.6.2	Biochemical Oxygen Demand.....	III - 7

	3.2.6.3	Pemeriksaan Oksigen Terlarut.	III - 8
	3.2.6.4	Pemeriksaan Nitrit Dan Nitrat.	III - 9
	3.2.6.5	Pemeriksaan Ammonium.....	III - 10
	3.2.6.6	Pemeriksaan Suspended Solid...	III - 10
	3.2.7	Metoda Sampling.....	III - 12
	3.2.8	Analitical Quality Control.....	III - 12
BAB IV		HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA.....	IV - 1
	4.1	Gambaran Umum.....	IV - 1
	4.2	Hasil Penelitian.....	IV - 2
	4.3	Analisa Data Hasil Penelitian...	IV - 13
	4.3.1	Pengaruh Laju Aliran Udara .....	
		Terhadap Effisiensi Penurunan....	
		Parameter BOD-COD.....	IV - 13
	4.3.2	Pengaruh Laju Aliran Udara.....	
		Terhadap Effisiensi Penyisihan ..	
		Ammonium, $NH_4^+$ .....	IV - 20
	4.3.3	Pengaruh Laju Aliran Udara.....	
		Terhadap Effisiensi Nitrifikasi..	IV - 25
	4.3.4	Pengaruh Lamanya Waktu Aerasi....	
		Terhadap Effisiensi Penyisihan...	
		Ammonium dan Nitrifikasi.....	IV - 33
	4.3.5	Pemakaian Oksigen Oleh Mikroba...	
		Pada Berbagai Nilai Perbandingan.	
		BOD:N:P Dan Variasi Laju Aliran..	
		Udara.....	IV - 41
BAB V		KESIMPULAN DAN SARAN.....	V - 1
	5.1	Kesimpulan.....	V - 1
	5.2	Saran-Saran.....	V - 4
DAFTAR PUSTAKA			
LAMPIRAN			
LAMPIRAN A - 1		Analisa Ammonium.....	A - 1
A - 2		AQC - Ammonium.....	A - 4
B - 1		Analisa Nitrat.....	B - 1
B - 2		AQC - Nitrat.....	B - 4
C - 1		Analisa Nitrit.....	C - 1



D - 1	Analisa Oksigen Terlarut.....	D - 1
D - 2	Analisa BOD.....	D - 4
D - 3	Analisa Zat Organik.....	D - 6
D - 4	Analisa COD.....	D - 9
D - 5	AQC - COD.....	D - 12
E - 1	Analisa MLSS.....	E - 1
F - 1	Kalibrasi Flow Meter Udara.....	F - 1
G - 1	Perhitungan Waktu Detensi.....	G - 1
G - 2	Perhitungan Feeding.....	G - 2
G - 3	Perhitungan Kebutuhan Udara.....	G - 4
G - 4	Perhitungan Lumpur Yang Dibuang Per Hari.....	G - 8
G - 5	Perhitungan Effisiensi Nitrifikasi	G - 10

#### DAFTAR FOTO

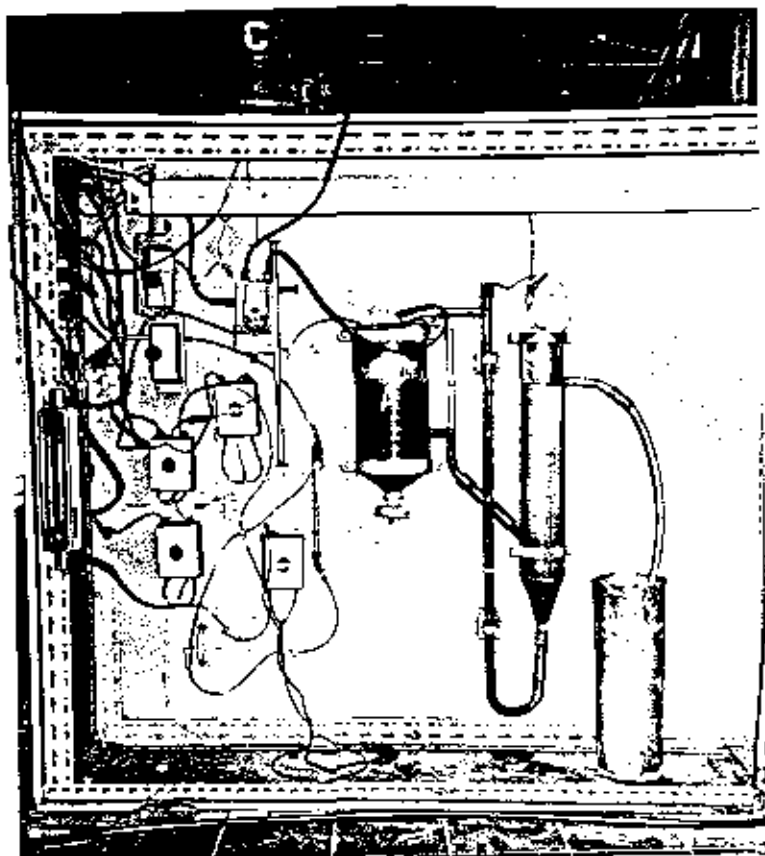
## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Tekanan Uap Air Dalam Kontak Dengan.... Udara.....	II - 38
2.2 Nilai Typical $\alpha$ Pada Beberapa Air Limbah	II - 41
2.3 Nilai $\alpha$ Pada Berbagai Kondisi..... Temperatur.....	II - 42
3.1 Kondisi Operasional Penelitian.....	III - 5
3.2 Titik Sampling Penelitian.....	III - 12
4.1 Nilai BOD, COD, MLSS-MLVSS Pada..... Perbandingan BOD:N:P = 100:5:1.....	IV - 4
4.2 Nilai BOD, COD, MLSS-MLVSS Pada..... Perbandingan BOD:N:P = 100:10:1.....	IV - 5
4.3 Nilai BOD, COD, MLSS-MLVSS Pada ..... Perbandingan BOD:N:P = 100:20:1.....	IV - 6
4.4 Nilai $\text{NH}_4^+$ , NOx, Effisiensi $\text{NH}_4^+$ ..... Dan Nitrifikasi Pada BOD:N:P = 100:5:1	IV - 7
4.5 Nilai $\text{NH}_4^+$ , NOx, Effisiensi $\text{NH}_4^+$ ..... Dan Nitrifikasi Pada BOD:N:P = 100:10:1	IV - 8
4.6 Nilai $\text{NH}_4^+$ , NOx, Effisiensi $\text{NH}_4^+$ ..... Dan Nitrifikasi Pada BOD:N:P = 100:20:1	IV - 9
4.7 Data Oksigen Utilization Rate Pada..... BOD:N:P = 100:5:1.....	IV - 10
4.8 Data Oksigen Utilization Rate Pada..... BOD:N:P = 100:10:1.....	IV - 11
4.9 Data Oksigen Utilization Rate Pada..... BOD:N:P = 100:20:1.....	IV - 12
A.1 Kalibrasi Ammonium.....	A - 2
A.2 Data AQC Ammonium.....	A - 5
A.3 Distribusi Frekwensi AQC-Ammonium.....	A - 5
B.1 Kalibrasi Nitrat.....	B - 2
B.2 Data AQC Nitrat.....	B - 5
B.3 Distribusi Frekwensi AQC-Nitrat.....	B - 6
C.1 Kalibrasi Nitrit.....	C - 2

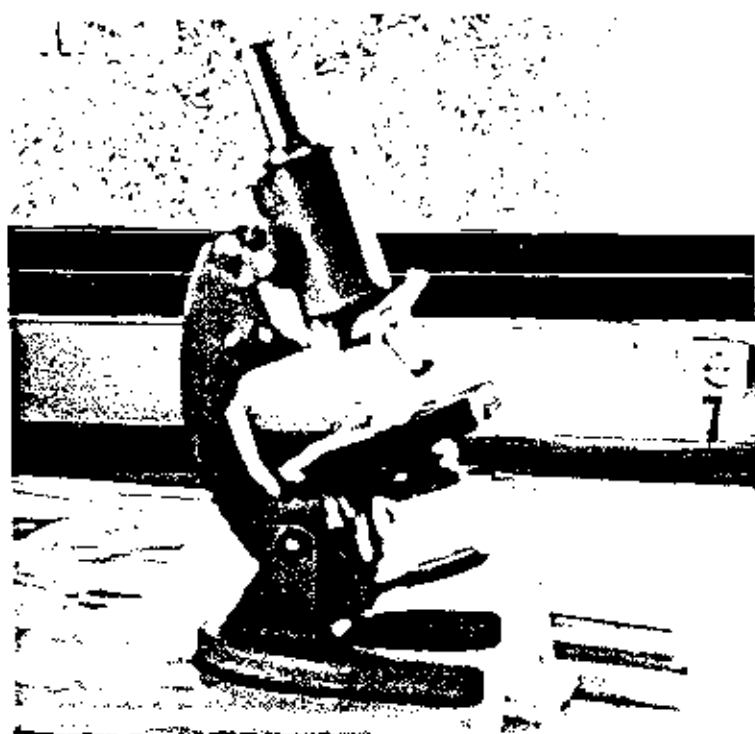
D.1	Data AQC - COD.....	D	- 13
D.2	Distribusi Frekwensi AQC-COD.....	D	- 13
F.1	Kalibrasi Flow Meter Udara.....	F	- 1
G.1	Jumlah Lumpur Yang Dibuang (Qw) Pada.... Perbandingan BOD:N:P = 100:5:1.....	G	- 10
G.2	Jumlah Lumpur Yang Dibuang (Qw) Pada.... Perbandingan BOD:N:P = 100:10:1.....	G	- 11
G.3	Jumlah Lumpur Yang Dibuang (Qw) Pada.... Perbandingan BOD:N:P = 100:20:1.....	G	- 12

## DAFTAR GAMBAR

		halaman
Gambar 2.1	Diagram Alir Proses Pembuatan Urea.....	II - 2
2.2	Activated Sludge Process.....	II - 4
2.3	Siklus Nitrogen.....	II - 11
2.4	Pengaruh Temperatur Terhadap Maksimum... Growth Rate Nitrifier.....	II - 16
2.5	Pengaruh Temperatur Terhadap Half..... Saturation Constant Dari Nitrifier.....	II - 16
2.6	Pengaruh pH Pada Rate Nitrifikasi.....	II - 17
2.7	Pengaruh pH Terhadap Rate Nitrifikasi...	II - 18
2.8	Oksidasi $\text{NH}_4^+$ Menjadi $\text{NO}_2^-$ Oleh ..... Nitrosomonas.....	II - 20
2.9	Kurva Residual Ammonia Terhadap Nilai DO	II - 21
2.10	Grafik Pengaruh DO Pada Rate Nitrifikasi	II - 22
2.11	Grafik Hubungan Removal Ammonia Dengan.. Biological Solid Retention Time.....	II - 24
2.12	Hubungan $\theta_c$ Dengan % Organik-N ..... Dan $\text{NH}_3\text{-N}$ Yang Dikonversi.....	II - 24
2.13	Pengaruh Sludge Recycle Ratio Terhadap.. Efisiensi Nitrifikasi.....	II - 26
2.14	Skematika Gas Transfer Melalui..... Stationary Liquid Film.....	II - 31
2.15	Penetrasi Gas Ke Dalam Cairan Dengan... Diffusi Unsteady.....	II - 32
2.16	Pengaruh Liquid Mixing Intensity..... Terhadap Nilai $\alpha$ .....	II - 44
2.17	Grafik Overall Oxygen Transfer Koefisien	II - 47
3.1	Model Activated Sludge.....	III - 3
A.1	Distribusi Frekwensi AQC-Ammonium.....	A - 7
B.1	Distribusi Frekwensi AQC-Nitrat.....	B - 7
D.1	Distribusi Frekwensi AQC-COD.....	D - 15

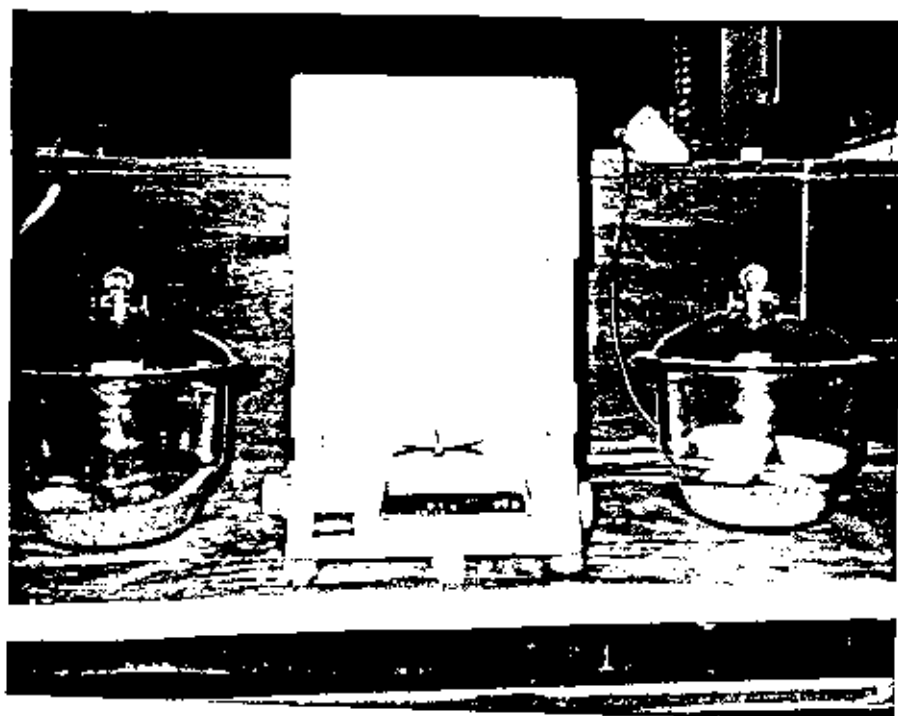


H.1 Model Instalasi Lumpur Aktif

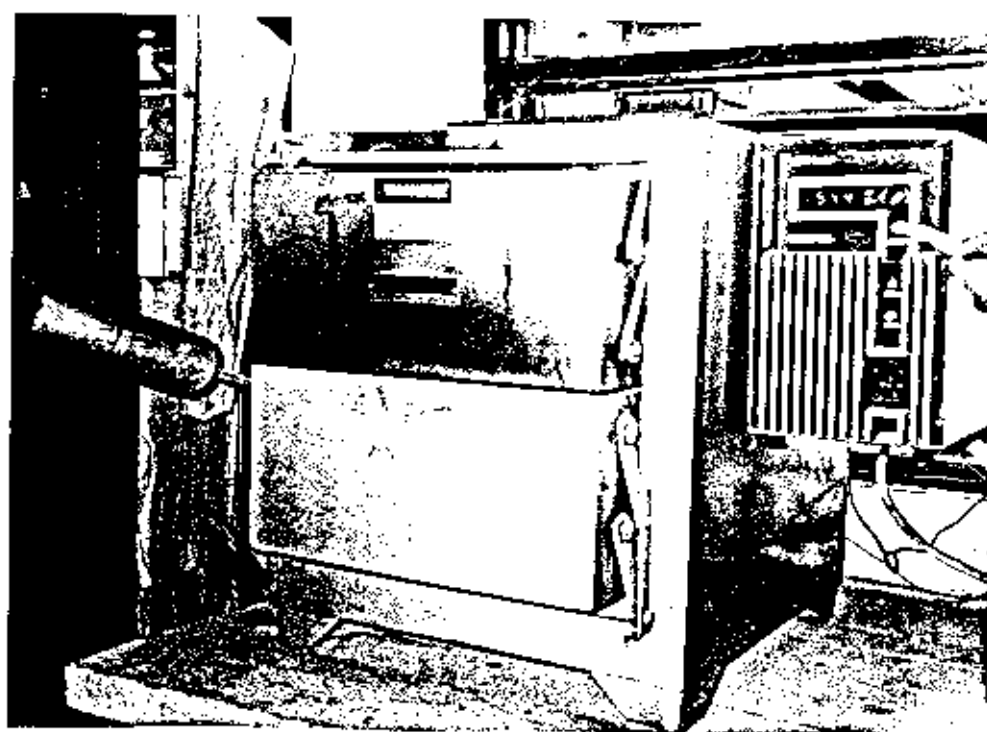


H.2 Mikroskop Untuk Pemeriksaan  
Mikrobiologi

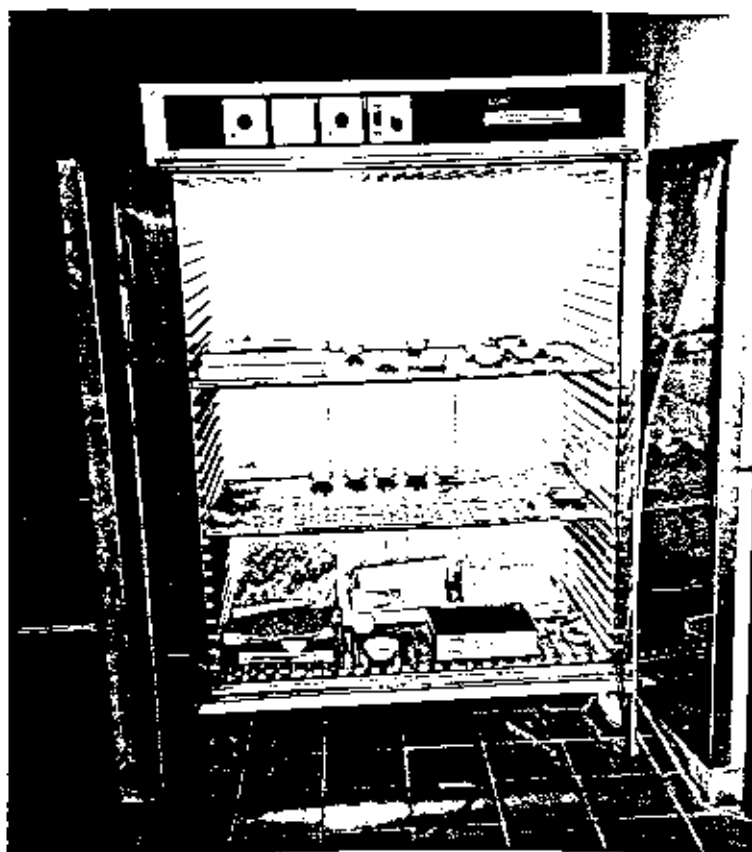
DAFTAR FOTO



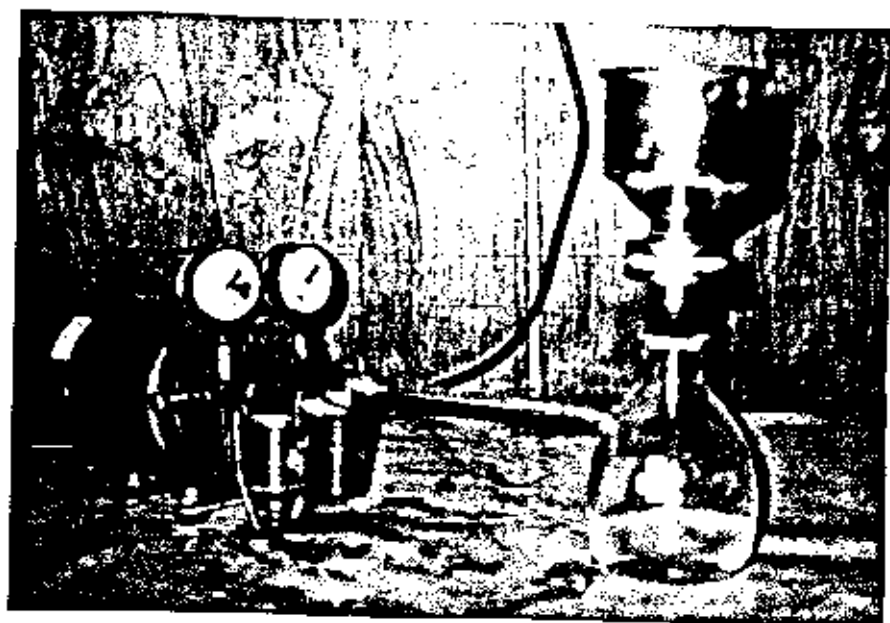
H.3 Desikator Dan Neraca Analitis

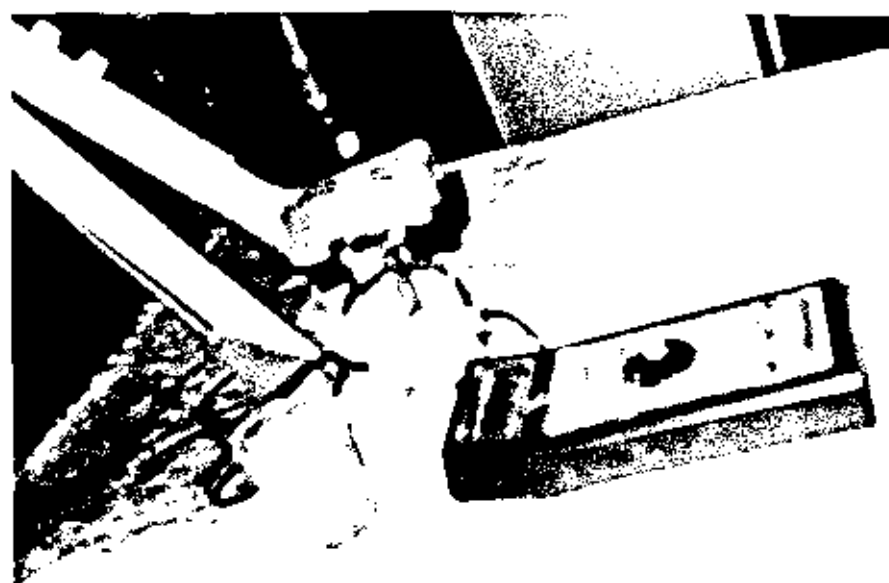


H.4 Furnace Untuk Pembakaran 550°C



H.5 Oven Untuk Pembakaran  $110^{\circ}\text{C}$



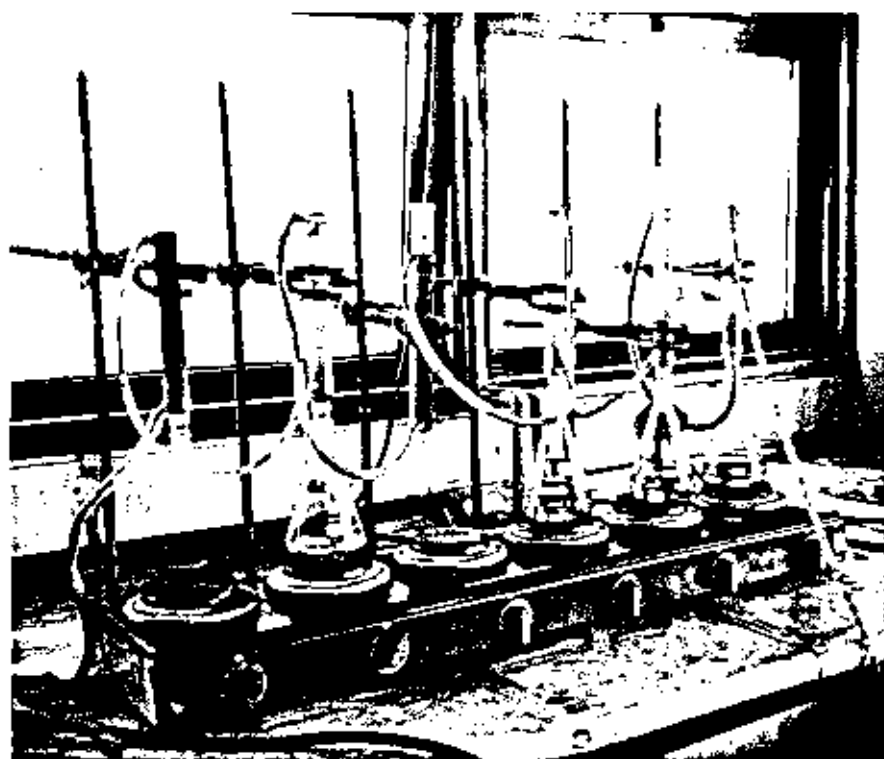


H.6 Unit pH Meter



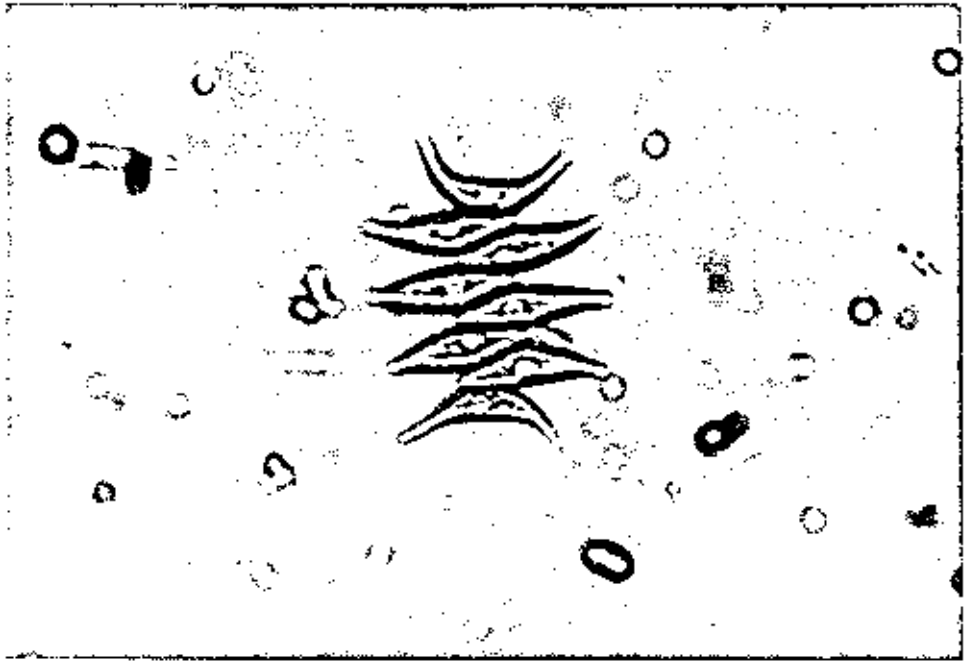
H.7 Unit Spektrofotometer



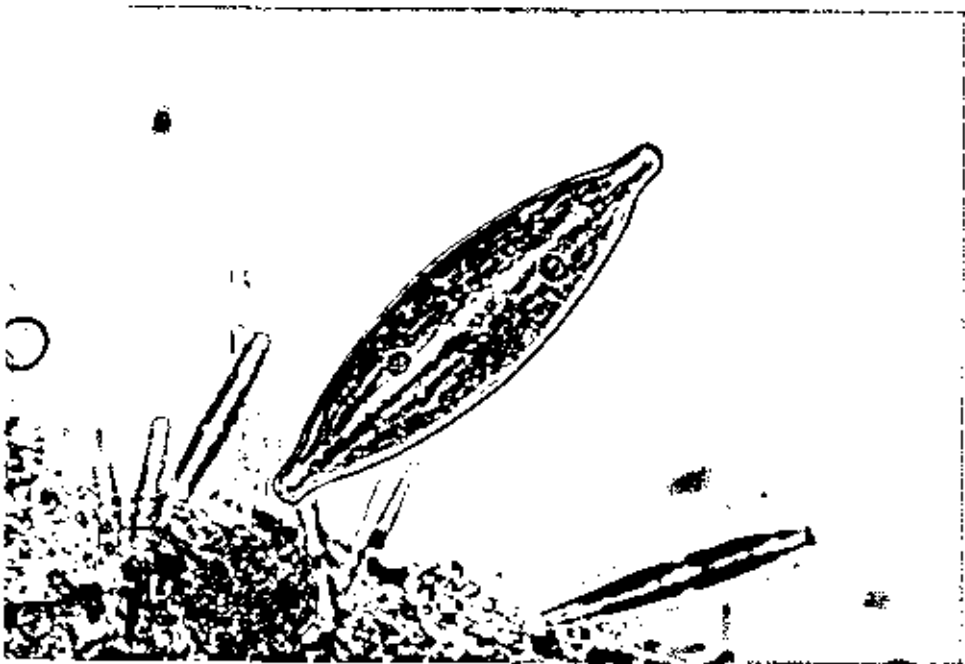


H.8 Unit Pemeriksaan COD  $K_2Cr_2O_7$

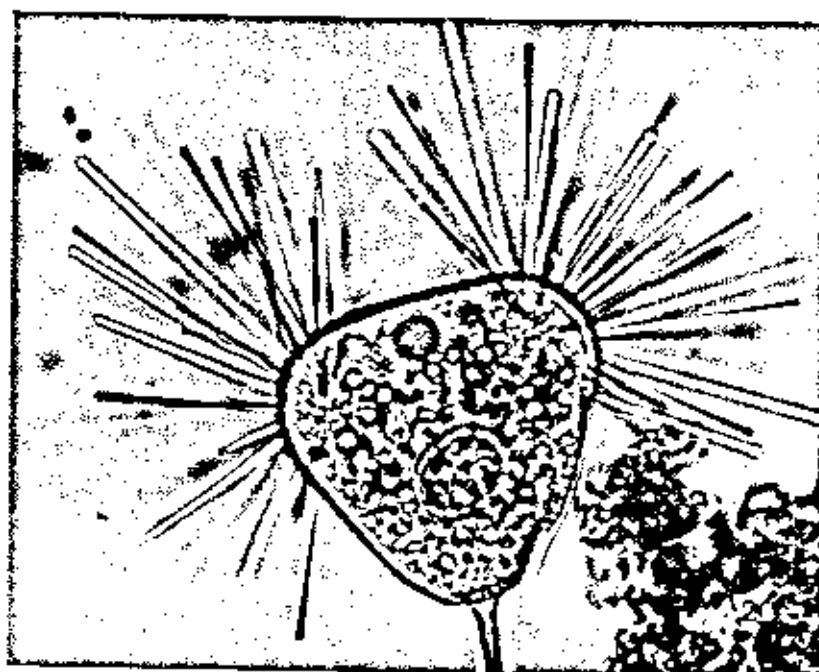
DAFTAR FOTO



H.9 Scenedesmus-Non Motile Green Algae



H.10 Navicula-Algae



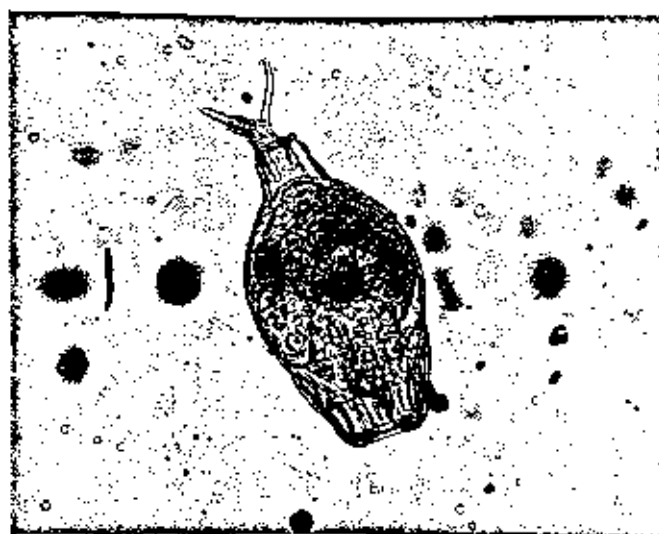
H.11 Suetoria-Protozoa



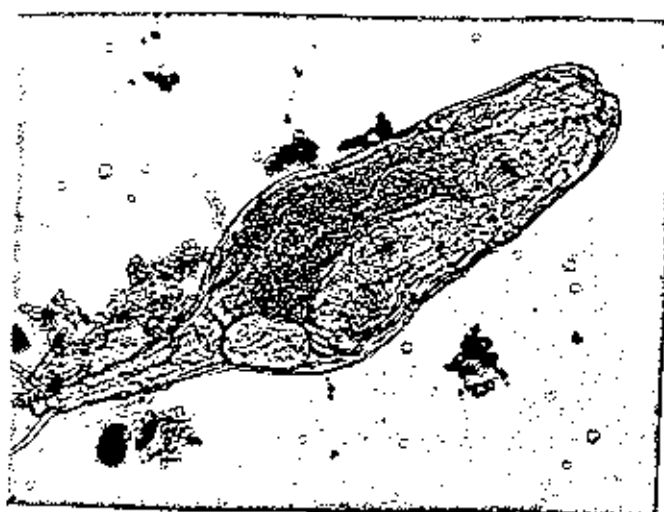
H.12 Dephania-Crustaceans



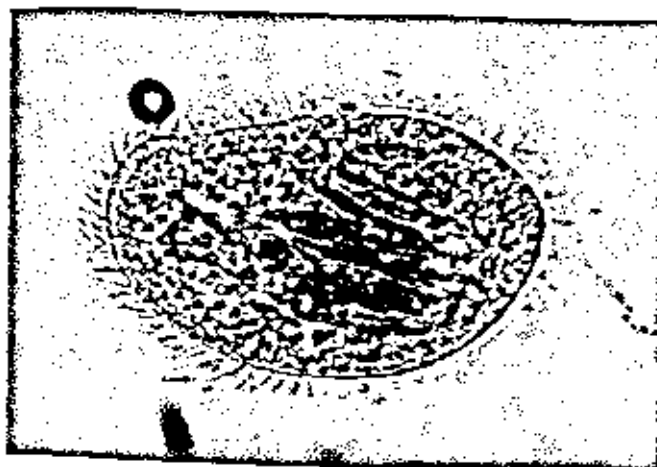
H.13 Brachionus-Rotifera



H.14 Rotifera



H.15 Rotifera



H.16 Free Swimming-Ciliata



H.17 Staiked Ciliata-Vorticella

# B A B I

## P E N D A H U L U A N

---

### 1.1. LATAR BELAKANG PEMILIHAN MASALAH

Pertambahan penduduk yang sangat cepat menyebabkan kebutuhan akan hasil pertanian semakin meningkat pula. Seiring dengan hal tersebut maka diperlukan upaya-upaya untuk menunjang peningkatan hasil pertanian, salah satu di antaranya adalah dengan mendirikan pabrik pupuk.

Salah satu industri yang ada adalah PT. Petro Kimia Gresik, yang telah mendirikan Industri Pupuk Urea Dan Ammonia yang sangat menunjang di dalam meningkatkan hasil pertanian.

Hasil samping dari pendirian Pabrik Pupuk Urea dan Ammonia tersebut adalah berupa limbah cair dengan kadar N yang cukup tinggi. Dalam rangka untuk memenuhi Standard Kualitas Limbah Cair Industri yang diijinkan, maka pada saat ini PT. Petro Kimia Gresik mempunyai suatu instalasi pengolahan air limbah dengan metoda *Nitrifikasi / Denitrifikasi Lumpur Aktif*.

Salah satu alasan digunakannya proses lumpur aktif adalah karena proses pengolahan limbah dengan lumpur aktif sangat baik digunakan untuk menangani limbah cair domestik ataupun limbah cair industri yang banyak mengandung bahan organik terlarut dan tersuspensi. Pada proses ini digunakan recycle terhadap mikroorganisme untuk mengoksidasi komponen organik yang ada dengan oksigen dan merubahnya menjadi  $\text{CO}_2$  dan air serta produk berupa sel-sel baru dan energi.

Apabila oksigen yang tersedia kurang mencukupi bagi mikroorganisme untuk melakukan oksidasi, maka proses tidaklah dapat dikatakan berjalan sempurna, di mana sel-sel baru yang dihasilkan tidak begitu baik. Kurang baiknya mutu sel-sel baru yang dihasilkan akan mempengaruhi kualitas lumpur dan akan membawa efek terhadap pengendapan.

## 1.2.IDE STUDI

Oksigen merupakan suatu elektron akseptor untuk metabolisme pertumbuhan sel bakteri / mikroorganisme dalam proses biologis ataupun kimiawi, khususnya proses aerobik dalam hal ini proses lumpur aktif.



Pada proses pengolahan limbah secara aerobik, khususnya lumpur aktif, oksigen mutlak ada dengan konsentrasi minimum 2 mg / lt. Apabila keberadaan oksigen di dalam air kurang, maka tambahan supply oksigen dapat diberikan secara mekanis melalui aerator. Berdasarkan hal di atas, maka perlu dilakukan penelitian mencari konsentrasi optimum oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk membentuk sel-sel baru dan menguraikan komponen organik yang ada di dalam air limbah, sehingga didapatkan kualitas effluent yang diinginkan.

### 1.3. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mencapai tujuan :

1. Mempelajari kemampuan mikroorganisme dalam menerima transfer oksigen pada proses Nitrifikasi dengan Lumpur Aktif, pada berbagai variasi laju aliran udara.
2. Mendapatkan kebutuhan oksigen optimum pada proses Nitrifikasi dengan proses Lumpur Aktif, dan melihat penurunan nilai COD, BOD, N.

#### 1.4. RUANG LINGKUP PENELITIAN

Mengacu pada tujuan penelitian yang akan dilakukan, maka ruang lingkup penelitian ini meliputi :

1. Menggunakan instalasi Lumpur Aktif dengan skala laboratorium, terdiri dari satu buah tangki aerasi, satu buah tangki sedimentasi, pipa resirkulasi dan aerator sebagai supplier oksigen.
2. Melakukan pembenihan / seeding dan aklimasi terhadap mikroba secara batch dan kontinu untuk mendapatkan lumpur yang cukup stabil.
3. Menggunakan limbah buatan yang mengandung N.
4. Melakukan variasi terhadap variabel :
  - Rate udara yang masuk ke dalam tangki aerasi
  - Konsentrasi influent .
5. Melakukan analisa terhadap parameter :
  - Penurunan nilai COD, N.
  - Pertumbuhan massa sel mikroorganisme (MLSS, MLVSS)
6. Menganalisa hasil penelitian dan membuat kesimpulan.

## B A B    I I

### T I N J A U A N   P U S T A K A

---

#### 2.1. PROSES PEMBUATAN UREA

Pupuk urea pada umumnya dibuat berdasarkan reaksi antara  $\text{CO}_2$  dan  $\text{NH}_3$  sehingga menghasilkan Ammonium Carbamat,  $\text{NH}_2\text{CONH}_4$  yang berupa liquid, yang selanjutnya setelah melalui proses sintesa, dekomposisi, recovery, kristalisasi dan pembutiran akan terbentuk pupuk urea sesungguhnya.

Pupuk urea yang dikenal dengan rumus kimia  $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ , pertama kali dibuat oleh Frederick Fohler pada tahun 1828, yaitu dengan mereaksikan garam sianat dengan Ammonium Hidroksida,  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Penemuan ini merupakan bukti pertama kali bahwa zat organik dapat diperoleh dari zat anorganik. Akhirnya pada tahun 1870 Bassarof membuat urea dari dehidrasi Ammonium Carbamat, yang merupakan dasar pembuatan urea secara komersial sampai saat ini.

Secara stoikiometris, proses pembuatan urea terjadi dalam dua tahap reaksi kesetimbangan sebagai berikut :

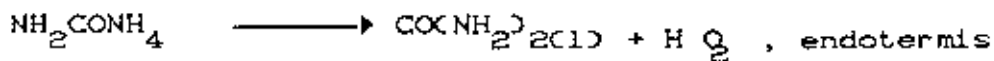
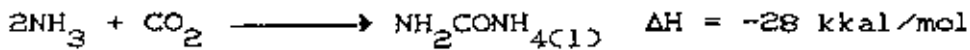
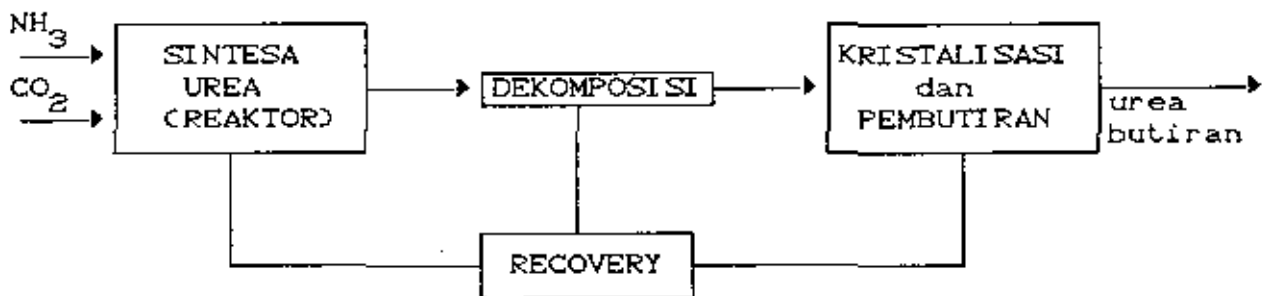


Diagram alir proses pembuatan urea , berdasarkan Proses Resirkulasi Total <sup>1)</sup> adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1. Diagram Alir Proses Pembuatan Urea

Keterangan Diagram Alir :

Campuran antara  $\text{NH}_3$  dan  $\text{CO}_2$  di dalam reaktor selanjutnya akan mengalami proses dekomposisi yang akan menghasilkan larutan urea 95 % dan sisa  $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$  yang tidak terproses.

Larutan urea 95 % akan mengalami proses lanjut, yaitu proses pemadatan / pengkristalan untuk menghasilkan butiran-butiran urea, sedangkan yang tidak terkristalisasi mengalami proses resirkulasi

<sup>1)</sup> HB Harjono, Irwan Noezar, Muchidin Apandi, Mublar Purwasasmita, "Diktat Industri Kimia " Hal. 148

Dari diagram alir tersebut di atas, tampak bahwa effluent yang dihasilkan tentu saja tidak terlepas dari kandungan N-Ammonia, sehingga perlu dilakukan pengurangan konsentrasinya dengan suatu pengolahan biologis.

## 2.2. ACTIVATED SLUDGE PROCESS

Activated Sludge Process dibangun pertama kali di Inggris oleh Adern dan Lockett pada tahun 1914. Dinamakan Activated Sludge karena di dalam prosesnya melibatkan aktivitas mikroorganisme yang diaktifkan.

Menurut Reynolds (1982), dikatakan bahwa Activated Sludge Process adalah suatu proses yang menggunakan kultur mikrobial campuran yang terdiri dari bakteri, protozoa, rotifera dan jamur (fungi) dalam kondisi aerobik dengan menggunakan bahan-bahan organik dari air limbah sebagai substrat, yang kemudian diuraikan melalui respirasi mikrobial dan sintesa.

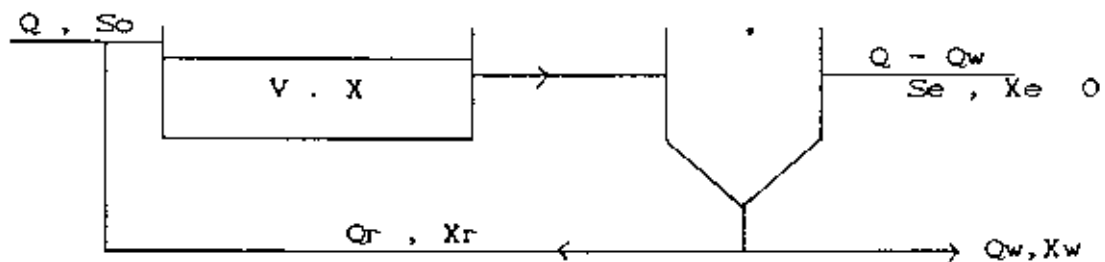
Secara umum jenis bakteri yang ada di dalam Activated Sludge (yang dikutip dari ; Met Calf and Eddy 1979) adalah gram negatif dan termasuk di dalamnya genus dari *Pseudomonas*, *Zoogela*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Bdellovibrio*, *Mycobacterium*

dan dua jenis bakteri nitrifying yang penting yaitu *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*. Selain itu terdapat juga beberapa jenis/bentuk filamentos seperti *Sphaerotilus*, *Beggiatoa*, *Thiothrix*, *Lecicothrix* dan *Geotrichum*.

Secara umum, pada sistem pengolahan limbah dengan menggunakan Activated Sludge Process terdiri dari beberapa unit utama, yaitu :

1. Reaktor biologis dengan supply oksigen dan pada umumnya disebut *Aeration Tank*.
2. Unit pemisah solid-liquid (*clarifier*).
3. Unit pompa recycle lumpur.

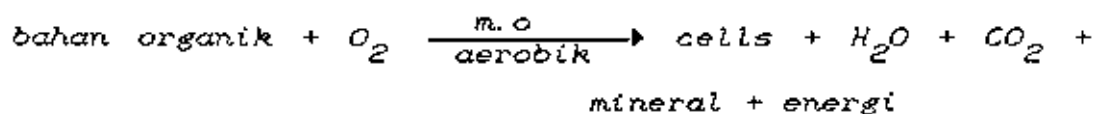
Secara sederhana, unit-unit tersebut dapat digambarkan sebagai berikut <sup>2)</sup> :



Gambar 2.2. Activated Sludge Process

Keterangan Diagram Alir :

Aliran influent air buangan  $Q$ , dicampur dengan aliran dari clarifier sesaat sebelum memasuki reaktor atau pencampuran terjadi di reaktor. Di dalam reaktor dengan segera lumpur aktif akan mengadsorpsi padatan organik terlarut di dalam air buangan. Pada tahap ini kira-kira membutuhkan waktu 20 - 45 menit. Kemudian padatan organik tadi dilarutkan dan dioksidasi dan berupa mix liquor tinggal beberapa saat di reaktor untuk selanjutnya dirubah menjadi karbon dioksida, air, mineral, cells biomassa baru dan energi sesuai reaksi:



flok yang mengandung mikroorganisme dari reaktor menuju ke bak pengendap (clarifier).

Pada bak pengendap ini dipisahkan antara effluent yang berupa air dengan kualitas lebih baik di bagian atas ( $Q - Q_w$ ). Flok yang mengandung mikroorganisme akan mengendap di bawah dan akan dikembalikan ke reaktor dengan pompa resirkulasi. Kelebihan lumpur tersebut akan dibuang sebagai  $Q_w$ .

Menurut Verstraete (1990), ada dua karakteristik penting yang membedakan Activated Sludge dengan proses fermentasi konvensional adalah pertama komponen biologis yang ada adalah kultur yang heterogen, bukan kultur murni, yang dapat terdiri dari bakteri, ragi, jamur (fungi), protozoa dan rotifer. Ke dua adalah yang diharapkan pada proses ini bukanlah mikroorganisme muda yang dapat banyak menguraikan bahan-bahan organik tetapi justru mikroorganisme yang sudah tidak begitu aktif lagi. Pada proses ini diusahakan pembatasan substrat dan biomass yang tidak begitu 'lapar'. Pada kondisi ini sel akan berkembang lambat dan membentuk flok.

---

2)

Reynold, Tom D., "Unit Operation and Processes In Environmental Engineering", 1982, hal. 289



2.2.1. MACAM-MACAM BENTUK PENGOLAHAN dan MODIFIKASI dari  
ACTIVATED SLUDGE,

Ada beberapa jenis / model dari Activated Sludge yang akan dijelaskan secara singkat, yang dikutip dari Syed R. Qasim , 1985 :

1. *Tapered Aeration ,*

Tapered Aeration hampir mirip dengan Activated Sludge konvensional. Perbedaan utamanya adalah dalam hal perancangan diffusernya. Diffuser tersebut (biasanya jumlahnya lebih dari satu) terletak saling berdekatan pada akhir dari influent, di mana oksigen yang dibutuhkan lebih banyak.

2. *Step Aeration ,*

Return sludge diterapkan / dipasang di beberapa titik pada aeration basin. Secara umum tangki aerasi terbagi menjadi tiga atau lebih saluran yang paralel dengan dikelilingi baffle, dan sludge diterapkan pada saluran yang terpisah. Oksigen yang dibutuhkan didistribusikan secara seragam.

3. *Completely Mix Aeration ,*

Influent dan return sludge dicampur dan dipasang pada beberapa titik sepanjang panjang dan lebar

dari tangki. Pada campuran tersebut, aliran MLSS melalui tangki menuju ke saluran effluent. Kebutuhan oksigen dan beban organik adalah sama / seragam sepanjang keseluruhan panjang tangki.

4. *Extended Aeration* ,

Extended Aeration proses menggunakan tangki aerasi yang besar, di mana populasi mikroorganisme yang tinggi perlu dipelihara. Proses ini digunakan untuk aliran yang kecil dari berbagai sumber yang berbeda, sekolah dan sebagainya. *Oxidation Ditch* adalah merupakan variasi dari proses Extended Aeration. Pada proses ini mempunyai saluran yang berbentuk track. Rotor digunakan untuk mensupply oksigen dan menjaga sirkulasi.

5. *Contact Stabilization* ,

Activated Sludge dicampur dengan influent di dalam tangki, di mana komponen organik diabsorb oleh mikroorganisme. MLSS akan diendapkan di dalam clarifier. Return sludge diaerasi di dalam tangki reaerasi untuk menstabilkan komponen organik. Proses ini membutuhkan hampir mendekati 50 % volume tangki.

6. *Pure Oxygen* ,

Oksigen diberikan menutupi seluruh tangki aerasi. Sejumlah gas dibuang dari tangki untuk menurunkan konsentrasi  $\text{CO}_2$ . Proses ini sangat sesuai untuk limbah dengan kandungan tinggi, di mana jarak bisa dikurangi. Peralatan khusus untuk generasi oksigen diperlukan pada proses ini.

2.3. PROSES NITRIFIKASI dan HAL-HAL YANG TERKAIT

2.3.1. UMUM ,

Nitrogen merupakan suatu senyawa yang penting dalam proses kehidupan makhluk hidup di bumi ini. Secara kimiawi, nitrogen merupakan senyawa yang sangat kompleks karena berada pada berbagai kondisi valensi dan pada kenyataannya dapat mengalami perubahan valensi akibat keberadaan mikroorganisme.

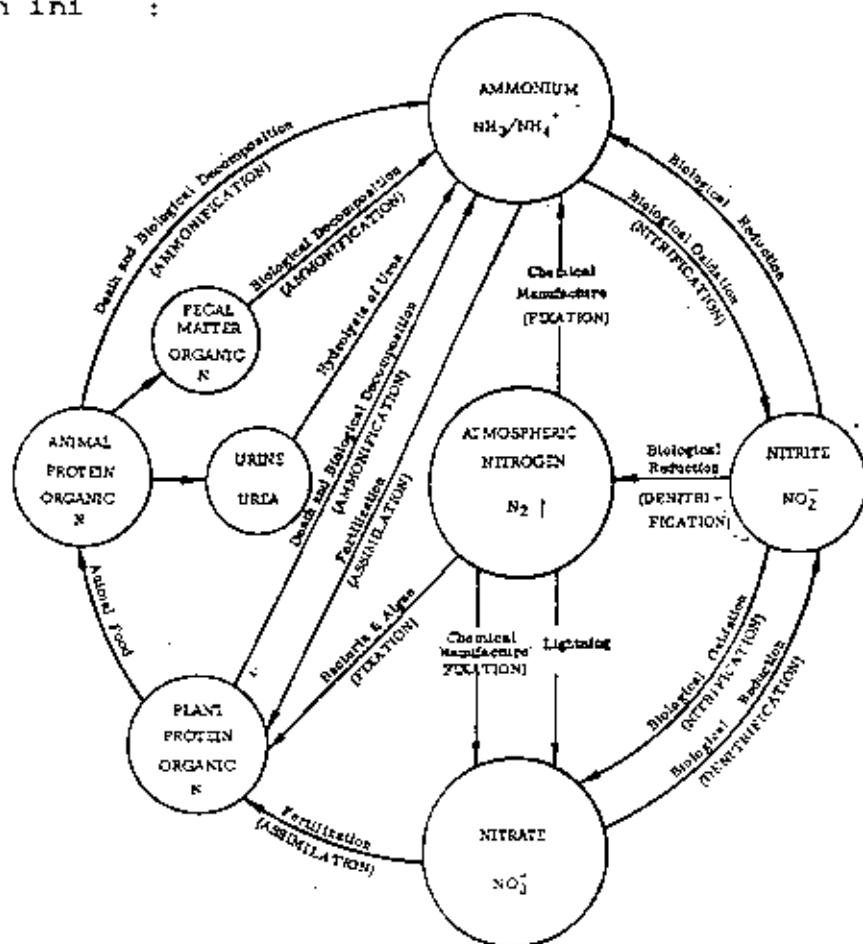
Senyawa nitrogen yang ada dalam air buangan merupakan gabungan dari bahan-bahan protein dan urea. Nitrat  $\text{NO}_3^-$ , dapat dihasilkan dari proses Nitrifikasi, yaitu proses oksidasi ammonium  $\text{NH}_4^+$ , menjadi nitrat / nitrit dengan bantuan mikroorganisme aerobik, atau berasal dari bentuk  $\text{N}_2$  di udara yang kemudian diubah menjadi  $\text{NO}_3^-$  oleh kilat.

Nitrat dapat digunakan oleh tumbuh-tumbuhan sebagai pupuk dan diubah menjadi bentuk protein, tetapi dalam jumlah yang terbatas. Oleh sebab itu, bila jumlah nitrat terlalu besar, sebagian tidak akan terpakai dan dapat terbawa air meresap ke dalam tanah sehingga sumber air tanah mengandung nitrat. Selain itu nitrat dapat pula direduksi menjadi bentuk nitrogen gas oleh mikroorganisme denitrifikasi atau menjadi bentuk ammonia oleh mikroorganisme pereduksi lainnya.

Kehadiran Nitrat dan Nitrit yang berlebih di dalam air dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan hidup, khususnya gangguan pada kehidupan manusia, seperti *Eutrofikasi*, yaitu pencemaran badan air yang disebabkan oleh banyaknya zat organik (khususnya nitrat / nitrit) yang menyebabkan *Algae Blooming* sehingga menyebabkan penurunan nilai DO badan air, akibatnya terjadi kematian pada ikan dan *Aquatic Life* lainnya. Selain itu, dapat mengganggu proses pengolahan air minum karena akan meningkatkan biaya pengolahan.

### 2.3.2. SIKLUS NITROGEN .

Siklus Nitrogen dapat dilihat dari gambar berikut di bawah ini <sup>3)</sup> :



Gambar 2.3. Siklus Nitrogen

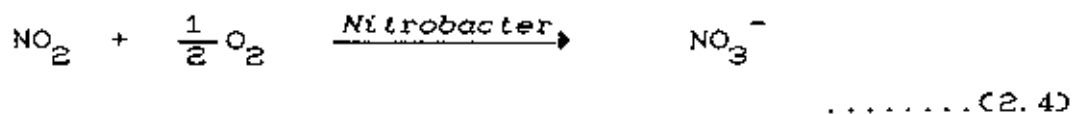
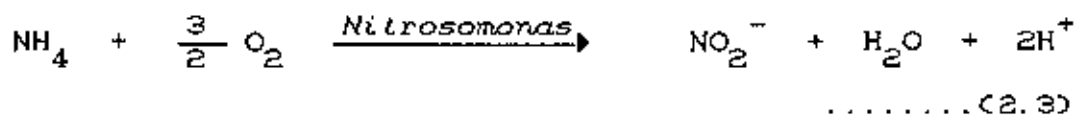
<sup>3)</sup> De Renzo, D. j., "Nitrogen Control and Phosphorus Removal In Sewage Treatment", 1978, hal. 7

### 2.3.3. PROSES NITRIFIKASI

Nitrifikasi adalah suatu proses oksidasi ammonium menjadi nitrat / nitrit secara biologis oleh aktivitas bakteri autotroph.

Mikroorganisme yang berperan dalam proses nitrifikasi menurut Belser (1979) yang dikutip dari M. Winkler (1981) terdiri dari *Nitrosomonas*, *Monocelle*, *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosocystis*, *Nitrobacter winogradskyi* dan *Nitrobacter agilis*.

Bakteri *Nitrosomonas* mengoksidasi  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  dan *Nitrobacter* mengoksidasi  $\text{NO}_2^-$  menjadi  $\text{NO}_3^-$ , sesuai reaksi :

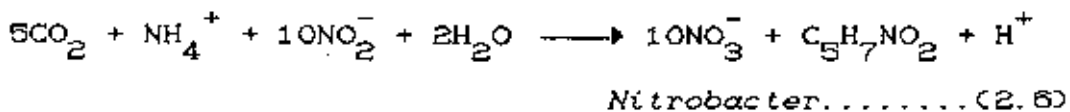
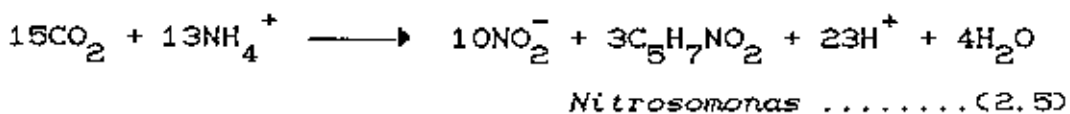


Menurut John J. Goering yang dikutip dari Ralph Mitchell (1972) menyebutkan bahwa bakteri-bakteri tersebut sebelum mengoksidasi ammonium menjadi nitrit, bakteri -bakteri tersebut memerlukan oksigen yang berlebih untuk metabolismenya.

Menurut Leslie G. and Henry(1980), kebutuhan oksigen pada proses nitrifikasi adalah 3.22 mg  $\text{O}_2$  untuk

mengoksidasi 1 mg  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_2^-$ , dan dibutuhkan 1.11 mg  $\text{O}_2$  untuk mengoksidasi 1 mg  $\text{NO}_2^-$  menjadi  $\text{NO}_3^-$ . Sehingga total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi 1 mg  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_3^-$  sebesar 4.33 mg  $\text{O}_2$ .

Menurut D .J.De Renzo, (1979) , persamaan untuk pertumbuhan sel bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* dengan asumsi bahwa rumus empiris dari sel adalah  $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$  dituliskan dalam persamaan berikut :



Persamaan untuk energi yielding reaction (persamaan 2.3 - 2.4) dapat dikombinasikan dengan persamaan untuk sintesa organisme (persamaan 2.5 - 2.6) untuk bentuk hubungan sintesa oksidasi dengan mengetahui yield koefisien untuk organisme nitrifying. Nilai experimental yield dari *Nitrosomonas* berkisar antara 0.04 - 0.13 lb VSS yang tumbuh per lb ammonia nitrogen yang dioksidasi. Sedangkan untuk *Nitrobacter* nilai yield tersebut berkisar dari 0.02 - 0.07 lb VSS yang tumbuh per lb nitrogen yang dioksidasi. Nilai yang

didasarkan pada teori termodinamika adalah 0.29 dan 0.084 untuk *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*.

#### 2.3.4. FAKTOR-FAKTOR YANG BERPENGARUH TERHADAP PROSES NITRIFIKASI ,

##### 2.3.4.1. PENGARUH TEMPERATUR,

Menurut C.W. Randal (1984), proses nitrifikasi sangat peka terhadap temperatur di atas 10 - 17°C. Nitrifikasi lebih sensitif terhadap pengaruh temperatur dari pada aktivitas heterotroph seperti deaminisasi.

Secara umum menurut Ralph Mitchell (1972), proses nitrifikasi akan berjalan sempurna pada temperatur 18°C - 30°C.

Pengaruh temperatur pada proses nitrifikasi dinyatakan dengan persamaan Archenius, menurut Wong Chong and Loehr (1978), yang dikutip dari Leslie G and Henry (1981), :

$$\mu_{mt} = \mu_{m-15} e^{\frac{M(T-15)}{10}} \dots\dots\dots (2.7)$$

di mana :

$\mu_{mt}$  = laju nitrifikasi maksimum

$\mu_{m-15}$  = laju nitrifikasi pada 15°C

$M$  = koefisien temperatur.



Koefisien temperatur untuk *Nitrosomonas* berkisar antara 0.095 - 0.12 dan untuk *Nitrobacter* berkisar antara 0.056 - 0.069.

Persamaan untuk konstanta *half saturation* untuk oksidasi ammonia-nitrogen adalah :

$$K_N = 10^{0.051 T - 1.158} \text{ mg/l, sebagai N} \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

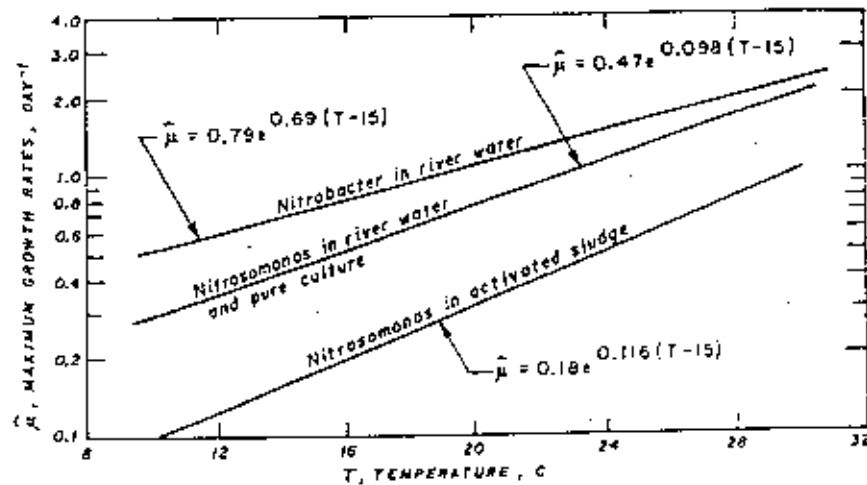
Sedangkan persamaan untuk menyatakan pengaruh temperatur terhadap maksimum growth rate dari *Nitrosomonas* adalah :

$$\hat{\mu}_N = 0.47 e^{0.098 (T - 15)} \text{ hari}^{-1} \quad \dots\dots\dots(2.9)$$

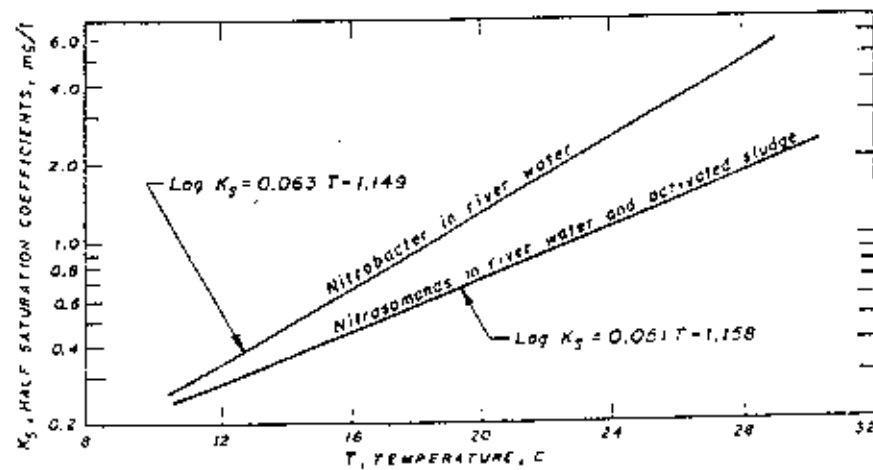
Selanjutnya pengaruh temperatur dapat dilihat pada gambar di bawah ini <sup>4)</sup> :

---

<sup>4)</sup> De Renzo D. J., "Nitrogen Control and Phosphorus Removal In Sewage Treatment" , 1978, hal. 37



Gambar 2.4. Pengaruh Temperatur Terhadap Maksimum Growth Rate Nitrifier

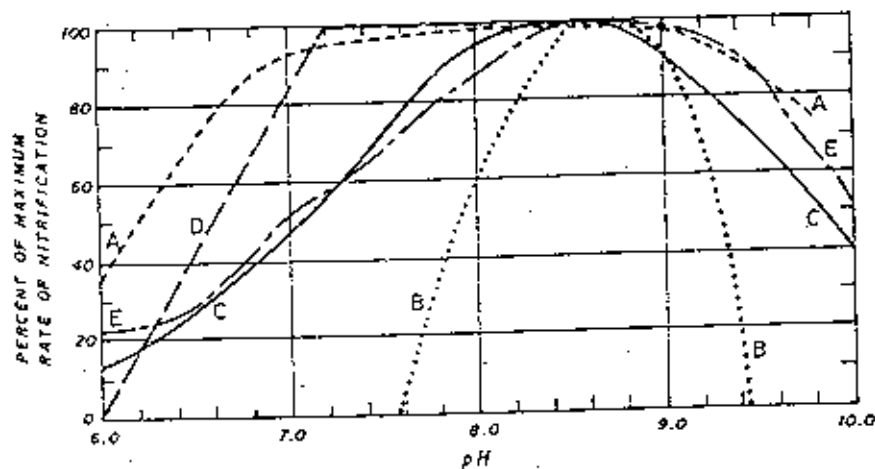


Gambar 2.5. Pengaruh Temperatur Terhadap Half Saturation Constant dari Nitrifier

#### 2.3.4.2. PENGARUH pH ,

Menurut Downing et. al. (1967), proses nitrifikasi dapat berlangsung pada pH sekitar 7.2 - 8.0. Jika  $pH > 8$  aktifitas bakteri *Nitrobacter* dan *Nitrosomonas* akan berkurang , begitu juga bila  $pH < 7.2$ .

Pengaruh pH terhadap rate nitrifikasi dapat dilihat pada grafik di bawah ini <sup>5)</sup>:

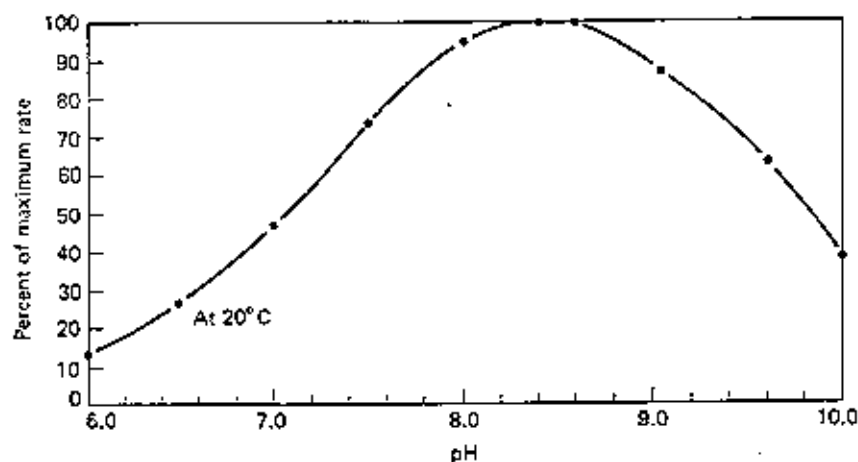


Gambar 2.6. Pengaruh pH Pada Rate Nitrifikasi

Keterangan :

<u>Symbol</u>	<u>Environment</u>	<u>Reference</u>
A	Nitrosomonas-pure culture	Engle & Alexander (40)
B	Nitrosomonas-pure culture	Myerhof (4)
C	Activated Sludge at 20 °C	Sawyer, et al. (42)
D	Activated Sludge	Doening, et al. (43)
E	Attached Growth Reaktor at 22 °C	Huang and Hopson (34)

Sedangkan hubungan antara pH dan maksimum rate nitrifikasi pada temperatur konstan dapat dilihat pada grafik di bawah ini, menurut Larry D. Benefield, (1980) 6);



Gambar 2.7. Pengaruh pH Terhadap Rate Nitrifikasi

5) De Renzo, D. J, "Nitrogen Control" , 1978, hal. 43

6) Benefield, Larry D, "Biological Proces Design For Wastewater Treatment" , 1980, hal.228

#### 2.3.4.3. PENGARUH WAKTU DETENSI HIDRAULIS ( $t_d$ ),

Waktu detensi hidraulis,  $t_d$ , adalah lamanya waktu kontak antara air buangan dengan mikroorganisme pengolah (lumpur aktif) pada suatu tangki reaktor.

Dalam suatu *Continuous Flow Process*, waktu detensi hidraulis dituliskan dengan persamaan :

$$t_d = \frac{V}{Q} \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

di mana :

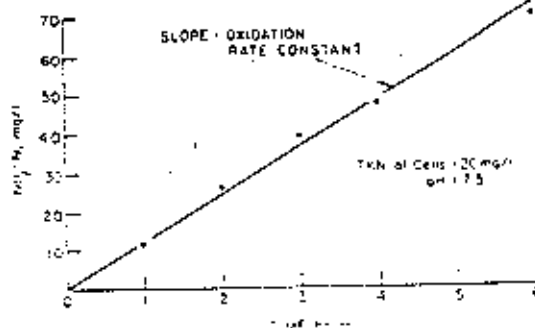
V = Volume Reaktor

Q = Debit Influent

Pada proses Nitrifikasi, bila ditinjau dari pertumbuhan mikroorganismenya, menurut Embar G. Srinath (1976), bakteri *Nitrosomonas* mempunyai waktu generasi lebih panjang dari pada bakteri heterotroph yaitu sekitar 30 jam untuk oksidasi ammonium. Secara tidak langsung waktu detensi yang diperlukan pada proses nitrifikasi harus lebih panjang karena proses yang berlangsung pada nitrifikasi sangat lamban. Seperti yang diperlihatkan pada gambar berikut <sup>7)</sup> :

---

<sup>7)</sup> Embar, G. Srinath, "Journal Of Engineering Division"  
Hal. 54



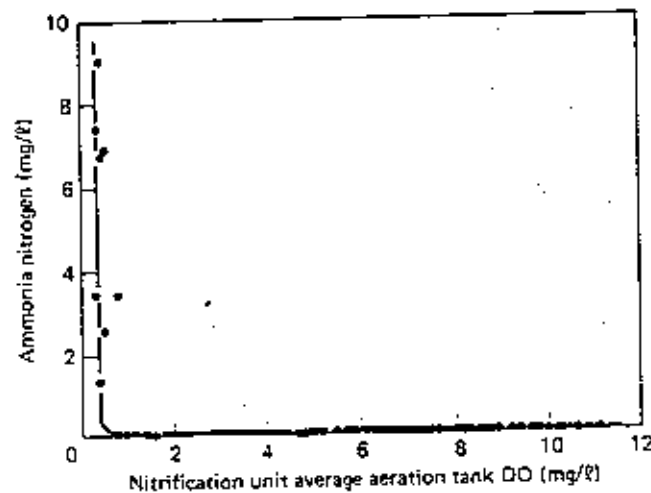
Gambar 2.8. Oksidasi  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  Oleh *Nitrosomonas*

Dari grafik terlihat bahwa waktu detensi hidraulik pada proses nitrifikasi, bila ditinjau dari efisiensi penghilangan N semakin pendek semakin baik karena waktu yang dibutuhkan *Nitrosomonas* untuk mengoksidasi  $\text{NH}_4^+$  menjadi  $\text{NO}_2^-$  sedikit, maka pembentukan nitrat pun akan terhambat.

#### 2.3.4.4. PENGARUH OKSIGEN TERLARUT (DO),

Wild (1971), menyatakan bahwa kondisi nitrifikasi akan sempurna bila nilai DO yang ada pada tangki reaktor dipertahankan di atas 1 mg/l, seperti yang diperlihatkan pada gambar berikut <sup>8)</sup> :

Tinjauan Pustaka



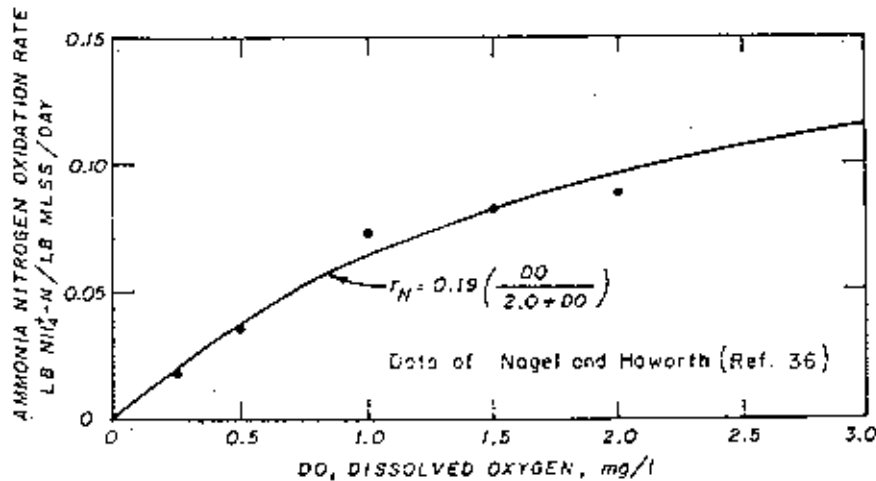
Gambar 2.9. Kurva Residual Ammonia Terhadap Nilai DO

Penemuan lain , oleh Nagel dan Haworth (1969), menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi DO di atas 1 mg/l akan mengakibatkan laju oksidasi ammonium meningkat, seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut di bawah ini <sup>8)</sup> :

---

<sup>8)</sup> Benefield, Larry D., "Biological Process Design for Wastewater Treatment", 1980, hal. 223

<sup>9)</sup> De Renzo, D.J., "Nitrogen Control and Phosphorus Removal In Sewage Treatment, 1978, hal. 41



Gambar 2.10. Grafik Pengaruh DO Pada Rate Nitrifikasi

Pada proses nitrifikasi, oksigen yang dibutuhkan oleh *Nitrosomonas* untuk mengoksidasi ammonium menjadi nitrit sebesar  $3.22 \text{ mg O}_2$  dan dibutuhkan  $1.11 \text{ mg O}_2$  oleh *Nitrobacter* untuk mengoksidasi nitrit menjadi nitrat. Sehingga total oksigen yang dibutuhkan dalam proses nitrifikasi adalah  $4.33 \text{ mg O}_2$ . Apabila kebutuhan oksigen tidak mencukupi maka proses nitrifikasi tidak berjalan sempurna.

British Investigator menemukan bahwa rate nitrifikasi pada  $\text{DO} = 2 \text{ mg/l}$  ternyata 10 % lebih rendah dari nilai DO yang lebih besar, walaupun reaksi sudah berjalan dengan sempurna. Kemudian pilot investigation pada Metro Sewer District of Cincinnati, Ohio



memperlihatkan bahwa pada  $DO = 2 \text{ mg/l}$  nitrifikasi hanya berjalan sekitar 40 %, tetapi pada saat  $DO$  dinaikkan menjadi  $4 \text{ mg/l}$ , reaksi berjalan sekitar 80 %. Selain itu *Murphy* menemukan bahwa reaksi berjalan pada dua activated sludge yang paralel yang mengandung  $DO \text{ } 8 \text{ mg/l}$ .

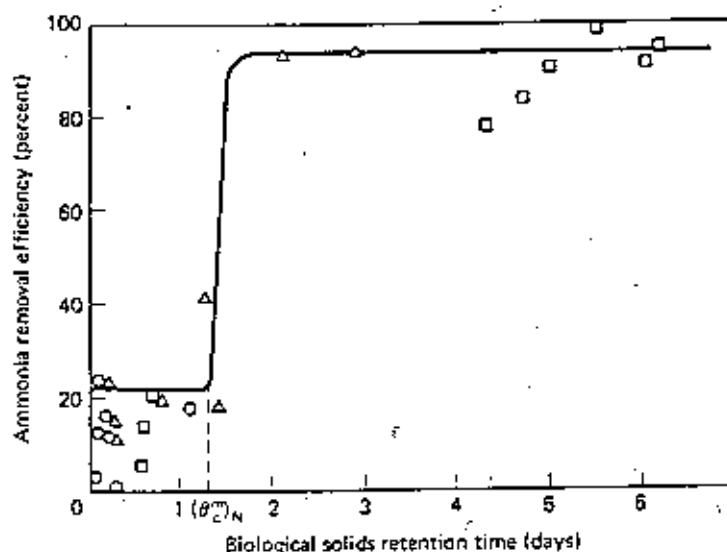
#### 2.3.4.5. PENGARUH UMUR LUMPUR ( $\theta_c$ ),

Pengaturan umur lumpur diperlukan untuk memperoleh konsentrasi  $MLVSS$  yang optimal terhadap efisiensi pengolahan secara keseluruhan pada proses nitrifikasi.

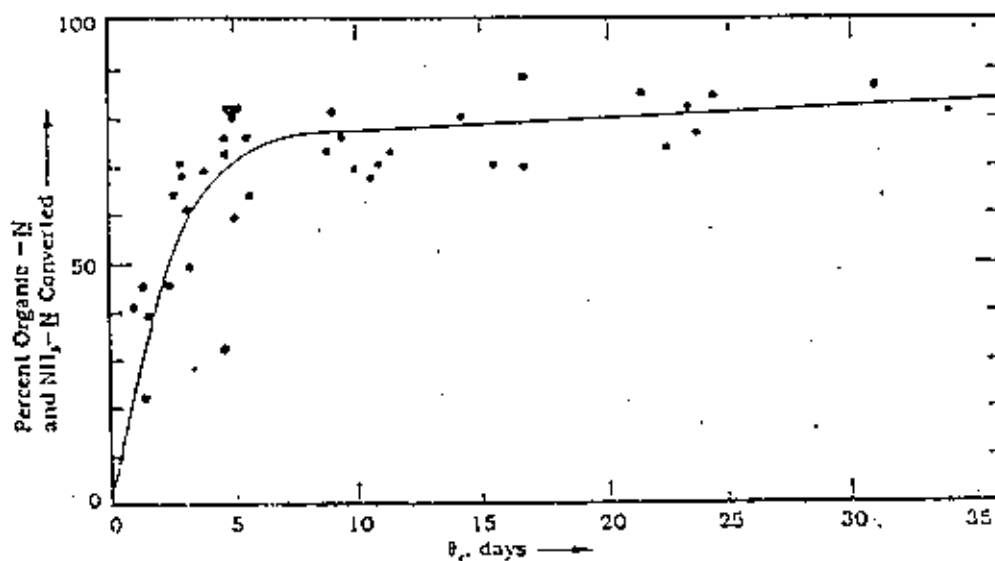
Umur lumpur pada proses nitrifikasi menurut Salpanich (1978) antara 5 - 10 hari berada dalam keadaan superior (baik sekali).

Untuk completely mixed activated sludge process,  $\theta_c$  didefinisikan sebagai  $BSRT$  (Biological Solid Retention Time) di mana biomassa yang di removal dari sistem lebih cepat dari yang dapat diproduksi. Untuk kondisi ini limiting konsentrasi nutrient di sekeliling mikroorganisme dipertimbangkan sama dengan konsentrasi nutrient di influent. Konsep ini dapat diterapkan pada nitrifikasi.

Pengaruh  $\theta_c$  terhadap removal ammonia dapat dilihat pada gambar berikut <sup>10), 11)</sup> :



Gambar 2.11. Grafik Hubungan Removal Ammonia Dengan Biological Solid Retention Time



Gambar 2.12. Hubungan  $\theta_c$  Dengan % Organik-N Dan  $\text{NH}_3\text{-N}$  Yang Dikonversi

Dari gambar di atas terlihat bahwa semakin lama umur lumpur  $\theta_c$ , maka removal ammonium yang terjadi semakin tinggi.

Tetapi di dalam menentukan lamanya umur lumpur, perlu juga dipertimbangkan nilai F/M ratio dalam pengolahan. Karena F/M ratio dan umur lumpur digunakan untuk menentukan karakteristik dan performance dari proses lumpur aktif. Sebagai contoh, apabila nilai F/M besar tetapi umur lumpur rendah biasanya akan menghasilkan pertumbuhan mikroba *filamentous*, yang akan mengakibatkan jeleknya karakteristik pengendapan bio solid. Jika umur lumpur terlalu lama tetapi ratio F/M sangat kecil maka akan menyebabkan terjadinya respirasi *endogenous* pada bio solid dan sel-sel mikroba akan mengalami *dispersed*.

---

10)

Benefield, Larry D., Randal, C.W., after Wuhrman, 1968, " Biological Process Design for Wastewater Treatment" , hal.231

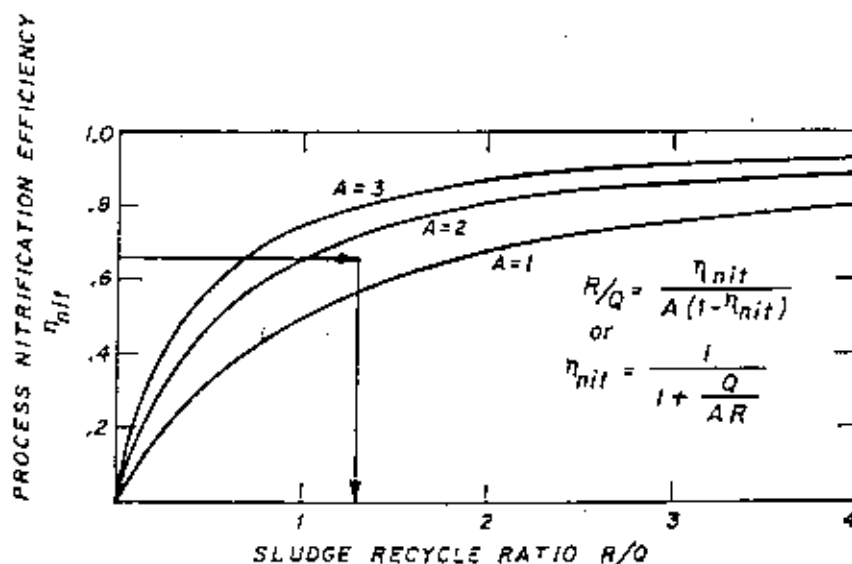
11)

Reynold, Tom D., "Unit Operation and Processes In Environmental Engineering" , 1982, hal. 281

#### 2.3.4.6. PENGARUH RESIRKULASI,

Pengaturan resirkulasi di dalam suatu proses pengolahan bertujuan untuk menggunakan kembali mikroorganisme dari hasil suatu pengolahan.

Resirkulasi sangat berpengaruh terhadap efisiensi removal N, seperti terlihat dalam gambar <sup>11)</sup>:



Gambar 2.13. Pengaruh Sludge Recycle Ratio Terhadap Efisiensi Nitrifikasi

<sup>11)</sup> De Renzo, D. J., "Nitrogen Control and Phosphorus Removal in Sewage Treatment", 1978  
Hal. 103

Dari gambar terlihat bahwa semakin besar ratio sludge recycle maka efisiensi penghilangan N menjadi semakin tinggi, hal ini dikarenakan dengan adanya recycle ratio yang semakin besar, menyebabkan konsentrasi mikroorganisme di dalam tangki reaktor jumlahnya relatif stabil, walaupun ada sebagian mikroorganisme yang mati. Tetapi sel-sel mikroorganisme yang mati itu digantikan oleh mikroorganisme dari recycle.

#### 2.4. KINETIKA PROSES NITRIFIKASI

Menurut Downing and Hopwood (1964), yang dikutip dari Larry D. Benefield and C.W. Randall (198), kinetika nitrifikasi mengikuti persamaan Monod sbb :

$$\mu = \frac{\mu_{\max} \cdot S}{K_s + S} \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

di mana :

$\mu$  = Spesifik Growth rate dari bakteri nitrifikasi  
time<sup>-1</sup>

$\mu_{\max}$  = Maksimum Spesifik Growth Rate pada konsentrasi  
jenuh substrat, time<sup>-1</sup>

$K_s$  = Konstanta kejenuhan, yang nilainya sama dengan  
konsentrasi substrat pada  $\mu = 1/2 \mu_{\max}$ .

*Tinjauan Pustaka*

$$S = \text{Sumber energi, mass volume}^{-1}$$

Sebelum kondisi steady state tercapai, berdasarkan percobaan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa akumulasi nitrit menjadi nitrat menjadi tidak berarti. Ini dapat diartikan bahwa batasan laju untuk menkonversi ammonium menjadi nitrat merupakan proses oksidasi oleh bakteri *Nitrosomonas*. Hal ini dapat disajikan dalam persamaan berikut :

$$(\mu)_{NS} = (\mu \max)_{NS} \frac{[NH_4^+ - N]}{K_N + [NH_4^+ - N]} \dots\dots\dots(2.12)$$

di mana :

$(\mu)_{NS}$  = Spesifik Growth rate *Nitrosomonas*, time<sup>-1</sup>

$(\mu \max)_{NS}$  = Maksimum Spesifik Growth Rate dari *Nitrosomonas*, time<sup>-1</sup>

$[NH_4^+ - N]$  = Konsentrasi N-Ammonia dalam mikroorganisme mass volume<sup>-1</sup>

$K_N$  = konstanta kejenuhan, mass volume<sup>-1</sup>

Untuk sistem reaktor teraduk sempurna yang dioperasikan pada kondisi steady - state , maka :

Tinjauan Pustaka



$$(\mu)_{NS} = (\theta_c)^{-1} \dots\dots\dots(2.13)$$

Sehingga persamaan (2.12) dapat dituliskan sbb :

$$\frac{1}{\theta_c} = (\mu \max)_{NS} \frac{[NH_4^+ - N]}{K_N + [NH_4^+ - N]} \dots\dots\dots(2.14)$$

Sedangkan laju nitrifikasi dapat dituliskan dengan persamaan :

$$r_N = \frac{[N - Kj]}{MLVSS} * \frac{(Q \text{ proses})}{Vol. \text{ reaktor}} \dots\dots\dots(2.15)$$

di mana :

- [N - Kj] = N - Kjeldahl yg dioksidasi, mg/lt
- (Q proses) = (Q influent + Q<sub>R</sub>), liter/hari
- MLVSS = MLVSS di dalam reaktor, mg/lt
- r<sub>N</sub> = laju nitrifikasi, mg N-Kj/mg VSS-hari

## 2.5. AERASI DAN GAS TRANSFER

### 2.5.1. UMUM,

Adsorbsi dan desorbsi gas mempunyai aplikasi luas di proses pengolahan pada *Sanitary Engineering*. Pada pengolahan air, operasi ini digunakan untuk meremove dan memindahkan karbon dioksida, hidrogen sulfida, methane dan berbagai bahan organik volatil penyebab rasa dan bau. Pada pengolahan air buangan, adsorbsi gas dipakai utamanya untuk melengkapi udara bagi proses *aktivated sludge*.

Gas transfer adalah fenomena fisik di mana molekul gas dipindahkan antara liquid dan gas pada gas - liquid interface. Perpindahan ini mengakibatkan peningkatan konsentrasi gas dalam fase liquid selama fase ini belum jenuh dengan gas pada kondisi tertentu seperti tekanan parsial dan temperatur.

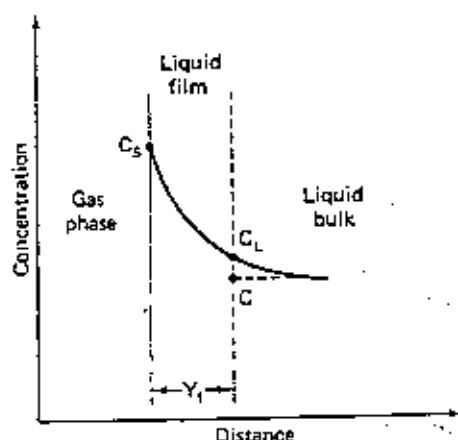
Fenomena alam yang penting dari gas transfer adalah reaerasi dari air permukaan, terutama transfer oksigen dalam air permukaan, sehingga proses aerasi dan gas transfer pada kondisi alami memegang peranan penting dalam stabilisasi alami polutan dalam air.



## 2.5.2. TEORI-TEORI GAS TRANSFER.

### 2.5.2.1. TEORI FILM.

Konsep sederhana dari Gas Transfer Process adalah *Stationary Liquid Film Theory*, yang menyatakan bahwa pada interface antara phase gas dan phase liquid ada suatu stationary liquid film di mana molekul-molekul gas terkonsentrasi. Konsentrasi gas yang melalui lapisan film itu tidaklah homogen tetapi agak berkurang dari konsentrasi jenuh menjadi konsentrasi yang lebih rendah pada film liquid / bulk liquid boundary seperti gambar berikut<sup>12)</sup>:

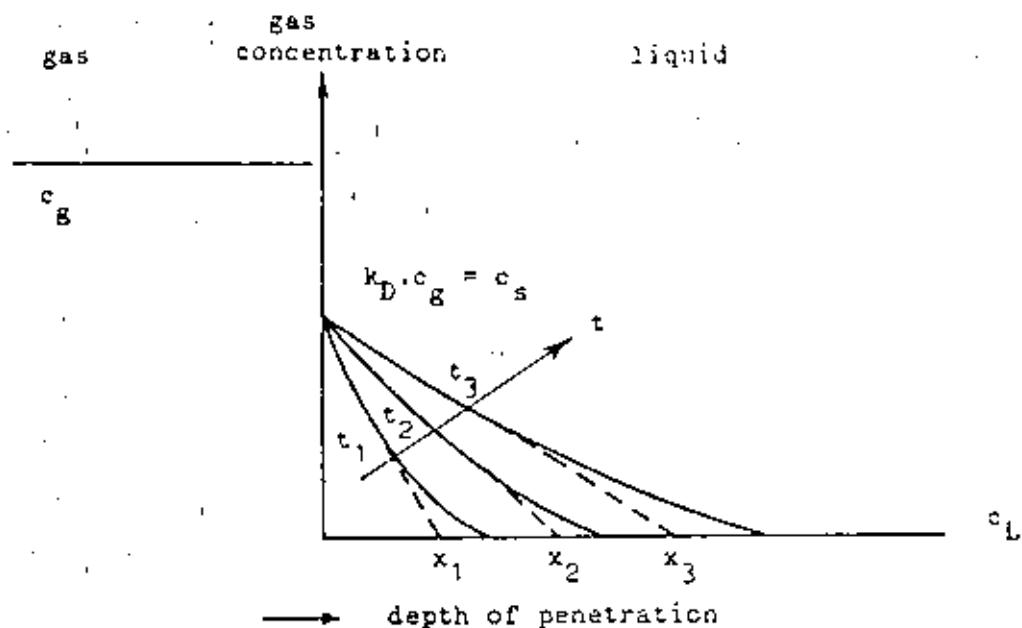


Gambar 2.14. Skematika Gas Transfer Melalui Stationary Liquid Film

<sup>12)</sup> Benefield, Larry D., "Biological Process Design for Wastewater Treatment", 1980, hal. 282

#### 2.5.2.2. TEORI PENETRASI

Model Teori Penetrasi tidak berupa stagnat film, tetapi elemen fluida yang diekspose dalam fase gas pada interface dari liquid. Selama waktu exposure terjadi diffusi gas dalam elemen fluida sehingga terjadi penetrasi ke dalam liquid. Berlawanan dengan Teori Film, proses penetrasi gas digambarkan sebagai diffusi *unsteady*, seperti digambarkan sbb <sup>13)</sup> :



Gambar 2.15. Penetrasi Gas Ke Dalam Cairan Dengan Diffusi Unsteady

<sup>13)</sup> Popel, H. J, Prof. Dr. Ing., "Aeration and Gas Transfer" 1983, hal. 26

#### 2.5.2.3. FILM - SURFACE RENEWAL THEORY,

Teori ini merupakan kombinasi dari difusi steady dan unsteady state. Pada kondisi turbulensi sangat rendah (stagnant atau aliran sangat pelan) exposure element permukaan ke fasa gas mungkin cukup efisien selama kondisi difusi steady state.

Selama kondisi difusi unsteady state, kedalaman penetrasi gas secara teoritis mencapai konsentrasi konstan, di mana molekul dan difusi eddy serta proses mixing menyebabkan proses dispersi.

#### 2.5.3. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KELARUTAN GAS DALAM AIR,

##### 2.5.3.1. KONSENTRASI GAS PADA KELARUTAN

Jika air diekspose pada gas atau campuran gas, perpindahan secara kontinyu dari molekul gas akan terjadi dari fase cair ke dalam gas dan sebaliknya.

Semakin tinggi konsentrasi gas dalam fasa gas, maka makin besar konsentrasi kelarutan dalam fase cair.

Hubungan antara konsentrasi kejenuhan dan konsentrasi gas dalam fasa gas merupakan hubungan linier seperti di kutip dari Popel (1983), pada bukunya

Aeration and Gas Transfer yang dinyatakan dengan persamaan :

$$C_s = k_D \cdot C_g \quad \dots\dots\dots(2.16)$$

di mana :

$C_s$  = Konsentrasi jenuh gas ,  $g/m^3$

$k_D$  = Konstanta proportionality

$C_g$  = Konsentrasi gas pada fasa gas,  $g/m^3$

Kelarutan  $C_s$  tergantung dari tekanan partial gas dalam fasa gas.

Kelarutan gas diperkirakan dengan menggunakan Hukum Henry :

$$C_s = k_H \cdot p \quad \dots\dots\dots(2.17)$$

di mana :

$p$  = Tekanan partial gas pada fasa gas, Pa

$k_H$  = Konstanta Henry,  $g/m^3 \cdot Pa = g/J$

#### 2.5.3.2.TEMPERATUR,

Sesuai dengan prinsip *Le Chatelier*, peningkatan temperatur menyebabkan penurunan kelarutan gas.

$\Delta H$  adalah fungsi temperatur dan konsentrasi, hal ini dapat untuk menunjukkan nilai  $k_D$ . Karena tekanan partial gas pada fasa gas konstan ( $C_g$  konstan),  $C_s$  sebanding dengan  $k_D$ . Pengaruh temperatur terhadap  $k_D$

dapat dilihat pada persamaan :

$$(k_D)_2 = (k_D)_1 \cdot e^{\text{const} (T_2 - T_1)} \dots\dots\dots(2.18)$$

#### 2.5.3.3. IMPURITIES /KONSTITUENT,

Konstituent yang terkandung dalam air mempengaruhi kelarutan gas, yang dinyatakan sebagai koefisien impurities  $\gamma$ . Untuk air murni  $\gamma = 1$ , di mana nilai  $\gamma$  akan meningkat bila konsentrasi bahan terlarut dalam air meningkat pula.

Pengaruh konsentrasi impurities dinyatakan dalam bentuk empirik :

- Untuk non elektrolit,

$$\log \gamma = f \cdot c_{\text{impurity}} \dots\dots\dots(2.19)$$

- Untuk elektrolit,

$$\log \gamma = f \cdot I \dots\dots\dots(2.20)$$

di mana :

$c_{\text{imp}}$  = konsentrasi impurities

$f$  = konstanta yang tergantung pada bahan terlarut dalam air

$I$  = ionic strengh dari elektrolit

#### 2.5.4. DIFFUSI,

Fenomena diffusi dapat diterangkan sebagai kecenderungan substansi untuk menyebar secara uniform dalam ruang yang tersedia.

Diffusi gas dalam fasa gas lebih cepat dari pada diffusi gas dalam cairan, sehingga fenomena diffusi lebih diperhatikan dalam fasa cair pada operasi gas transfer.

Diffusi molekul gas dalam fasa cair dinyatakan dalam Hukum Fick berikut :

$$\frac{dM}{dt} = D \cdot A \cdot \frac{\delta c}{\delta x} \quad \dots\dots\dots(2.21)$$

di mana :

D = koefisien diffusi molekul,  $m^2/s$

x = jarak dari interfacial area A

A = luas area,  $m^2$

$\delta c/\delta x$  = gradient konsentrasi

Persamaan di atas digunakan untuk kondisi aliran laminar, bila kondisi aliran adalah turbulen maka pengaruh eddy diffusion harus diperhitungkan.



#### 2.5.5. FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI TRANSFER OKSIGEN

##### 2.5.5.1. KONSENTRASI KEJENUHAN OKSIGEN (OXYGEN SATURATION),

Konsentrasi kejenuhan oksigen dalam air tergantung pada salinitas, temperatur dan tekanan parsial oksigen pada saat kontak dengan air.

Eckenfelder and O' Connor (1961) menunjukkan bahwa konsentrasi kejenuhan pada tekanan 760 mm Hg berlaku persamaan :

$$(C_s)_{760} = \frac{475 - 2,65 S}{33,5 + T} \quad \dots\dots\dots(2.22)$$

di mana :

$(C_s)_{760}$  = kejenuhan oksigen pada tekanan total  
atmosfir 760 mm Hg, mg/l

S = konsentrasi dissolved solid dalam air,  
g/l

T = temperatur, °C

Beberapa ahli merumuskan perbandingan tingkat kejenuhan oksigen untuk air buangan dan air bersih sebagai faktor  $\beta$ , dengan persamaan :

$$\beta = \frac{\text{konsentrasi kejenuhan air buangan}}{\text{konsentrasi kejenuhan air bersih}} \quad \dots\dots\dots(2.23)$$

Nilai kejenuhan oksigen bila ditinjau dari tekanan uap air dirumuskan :

$$C_s = (C_s)_{760} \frac{P - \bar{p}}{760 - \bar{p}} \quad \dots\dots\dots(2.24)$$

di mana :

P = tekanan barometrik , mm Hg

$\bar{p}$  = tekanan uap jenuh air pada temperatur air tsb,  
mm Hg

Beberapa nilai  $\bar{p}$  dapat dilihat pada tabel berikut <sup>14)</sup> :

Tabel 2.1. Tekanan Uap Air Dalam Kontak Dengan Udara

Temperatur (°C )	Tekanan Uap (mm Hg)
0	4.5
5	6.5
10	9.2
15	12.8
20	17.5
25	23.8
30	31.8

<sup>14)</sup> Benefield, Larry D., "Biological Process Design for Wastewater Treatment", 1980, hal.286



#### 2.5.5.2. PENGARUH TEMPERATUR,

Temperatur mempengaruhi overall oxygen coefficient yang dinyatakan oleh Eckenfelder (1966) dengan persamaan berikut :

$$K_{La}(T) = (K_{La})_{20^{\circ}C} (1.020)^{T - 20} \dots\dots\dots(2.25)$$

di mana :

$K_{La}(T)$  = nilai overall oxygen koef. pada  $T^{\circ}C$

$T$  = temperatur air,  $^{\circ}C$

Sedangkan O' Connor and Dobbins (1956), mengemukakan suatu pendekatan lain , di mana nilai  $K_{La}$  dikoreksi dengan temperatur dan efek viskositas seperti persamaan :

$$\frac{(K_{La})_1}{(K_{La})_2} = \left[ \frac{T_1 \mu_2}{T_2 \mu_1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.26)$$

di mana :

$T$  = temperatur,  $^{\circ}K$

$\mu$  = viskositas absolut, centipoise

Penting untuk diingat bahwa pengaruh temperatur pada  $C_s$  dan  $K_{La}$  adalah berdasarkan pendekatan yang sama tetapi dari tinjauan yang berbeda, sehingga pengaruh pengaruh tersebut cenderung untuk saling meniadakan.

*Tinjauan Pustaka*

### 2.5.5.3. KARAKTERISTIK AIR LIMBAH,

Pada kondisi proses, nilai  $K_L a$  air limbah biasanya lebih kecil dari nilai  $K_L a$  air bersih. Ini disebabkan karena keberadaan komponen organik terlarut, surface aktive material dan sebagainya. Stukenberg et al.(1977) melaporkan bahwa mixed liquor suspended solid mempunyai pengaruh yang kecil terhadap transfer oksigen dan secara umum dapat diabaikan dalam menentukan nilai  $K_L a$ .

Koefisien  $\alpha$  didefinisikan sebagai perbandingan nilai  $K_L a$  air limbah dengan  $K_L a$  air bersih sesuai persamaan :

$$\alpha = \frac{K_L a \text{ air limbah}}{K_L a \text{ air bersih}} \dots\dots\dots(2.27)$$

Lister and Boon (1973) , menemukan bahwa nilai  $\alpha$  mendekati 0.3 dan 0.8 pada inlet dan outlet dari Air Diffused, dan activated sludge yang mengolah air buangan dari kota. Para penyelidik ini juga menemukan bahwa nilai  $\alpha$  yang mendekati 0.8 kemungkinan diperkirakan berasal dari completely mixed system. Seperti telah disebutkan, koefisien overall oksigen transfer akan bertambah sesuai dengan material organik yang diremoval dari air limbah dan disarankan agar rate oksigen transfer yang diberikan lebih besar pada completely mixed system.

Beberapa nilai  $\alpha$  akan diberikan pada tabel<sup>15,16)</sup>:

Tabel 2.2. Nilai Typical  $\alpha$  Pada Beberapa Air Limbah

Unit	Waste	Alpha ( $\alpha$ )	Conditions
Sparjers <sup>1</sup>	Activated sludge effluent	1.320	10-25 scfm/unit, 15 ft depth, 25 ft width
Plate tubes <sup>1</sup>	Activated sludge effluent	0.860	6-14 scfm/unit, 15 ft depth, 25 ft width
INKA system <sup>2</sup>	Kraft Black Liquor 20 ppm	0.875	6 ft depth, 6.8 ft width, 2.6 ft submergence
	100 ppm	0.750	6 ft depth, 6.8 ft width, 2.6 ft submergence
	200 ppm	0.625	6 ft depth, 6.8 ft width, 2.6 ft submergence
Small bubble diffuser <sup>2</sup>	Kraft Black Liquor 20 ppm	0.880	100 l volume, 3 ft depth, 10 x 10 cm bubble air diffuser
	100 ppm	0.813	100 l volume, 3 ft depth, 10 x 10 cm bubble air diffuser
	200 ppm	0.662	100 l volume, 3 ft depth, 10 x 10 cm bubble air diffuser
Lightning lab stirrer <sup>3</sup>	Nylon manufactur- ing wastewater		10 l volume, surface mixing
		0.560	212 rpm
Aeration cone <sup>4</sup>	Tap water + 5 ppm anionic detergent	0.715	220 rpm
		1.330	12,500 ft <sup>3</sup> volume, 6 ft diameter, 36 rpm

<sup>1</sup>Barnhart (1965)

<sup>2</sup>Bewtra (1964)

<sup>3</sup>Randall (1971)

<sup>4</sup>Eckenfelder (1968)

<sup>15)</sup> Benefield, Larry D., "Biological Process Design for Wastewater Treatment", 1980, hal. 292

<sup>16)</sup> hal. 293

Tabel 2.3. Nilai  $\alpha$  Pada Berbagai Kondisi Temperatur

Oxygen uptake rate (mg/l-h)	Temperature (°C)	$\alpha$	$\beta$ C, (mg/l)
40	19.8	0.89	7.9
41	19.8	0.86	7.9
36	19.8	0.85	7.9
40	18.7	0.78	8.2
43	19.0	0.90	8.2
48	19.4	0.89	8.1
56	19.0	0.93	8.1
50	19.5	0.93	8.0
64	20.5	0.90	7.9
59	20.6	0.94	7.9
52	19.3	0.84	8.0
52	20.0	0.99	7.9

Source: After Stukenberg et al. (1977).

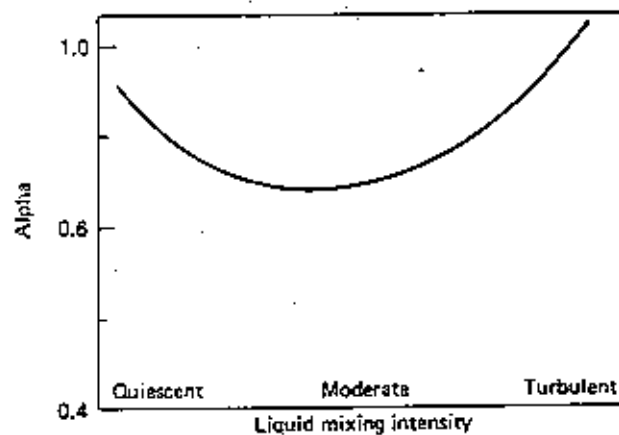
#### 2.5.5.4. PENGARUH TURBULENSI.

Eckenfelder dan Ford (1970), menyatakan bahwa tingkat turbulensi di dalam tangki aerasi akan mempengaruhi nilai  $\alpha$  :

1. Pada kondisi diam / stagnant (tingkat turbulensi rendah), pergerakan fluida mempunyai pengaruh yang kecil terhadap nilai  $\alpha$  karena resistensi (tahanan) diffusi pada liquid bulk lebih besar dari resistensi film.
2. Pertambahan agitasi fluida menjadi tingkat menengah mengurangi resistensi diffusi pada liquid bulk sehingga resistensi film akan mengontrol kecepatan diffusi. Pada titik ini akan menurunkan nilai  $\alpha$  menjadi minimum.
3. Suatu penambahan turbulensi selanjutnya pada agitasi fluida akan menghasilkan suatu tingkat turbulensi yang tinggi dan akan memecah lapisan film. Pada kondisi ini nilai  $\alpha$  akan mendekati satu.

Jika liquid tidak mengandung bahan-bahan surface aktif selama aerasi maka agitasi akan cenderung mengurangi ketebalan lapisan film.

Pengaruh turbulensi terhadap nilai  $\alpha$  telah diteliti oleh Mancy dan Okun (1960) seperti gambar 17) :



Gambar 2.16. Pengaruh Liquid Mixing Intencity Terhadap Nilai  $\alpha$

- <sup>17)</sup> Benefield, Larry D., after Mancy and Okun (1960), *Biological Process Design for Wastewater Treatment* 1980, hal. 289

### 2.5.6. KECEPATAN TRANSFER OKSIGEN

Kecepatan transfer oksigen mengikuti kinetika aerasi yang dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

di mana :

$C_s$  = konsentrasi kejenuhan oksigen, g/l

$C$  = konsentrasi oksigen awal, g/l

$K_L a$  = overall transfer koefisien

Jika persamaan (2.28) diintegrasikan maka diperoleh persamaan :

$$K_L a = 2.303 \frac{1}{t_1 - t_2} \log \frac{C_s - C_0}{C_s - C_1} \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

di mana  $C_0$  dan  $C_1$  adalah tingkat kandungan oksigen (DO) pada saat  $t_0$  dan  $t_1$ .

Dari persamaan (2.28) dengan memperhatikan tekanan parsial, tekanan uap air dan nilai  $\beta, \alpha$  maka persamaan tersebut dapat dituliskan :

$$\left( \frac{dC}{dt} \right)_{\text{actual}} = \alpha (K_L a)_{20^\circ\text{C}} \left( \frac{P - \bar{p}}{760 - p} \beta C_s - C \right) \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

Pada kondisi standard berlaku persamaan :

$$\left(\frac{dC}{dt}\right)_{\text{standard}} = (K_L a)_{20^\circ\text{C}} \cdot C_s \quad \dots\dots\dots(2.31)$$

Untuk mengetahui design rate transfer oksigen maka persamaan (2.30) dan (2.31) dapat digabungkan menjadi persamaan :

$$\left(\frac{dC}{dt}\right)_{\text{actual}} = \left(\frac{dC}{dt}\right)_{\text{standard}} \frac{\alpha \left(\frac{P-\bar{p}}{760-\bar{p}}\right) (C_s-C)}{C_s} \quad \dots\dots\dots(2.32)$$

Formula dasar yang digunakan di dalam kondisi steady state adalah :

$$\left(\frac{dC}{dt}\right)_{\text{overall}} = K_L a (C_s - C) R \quad \dots\dots\dots(2.33)$$

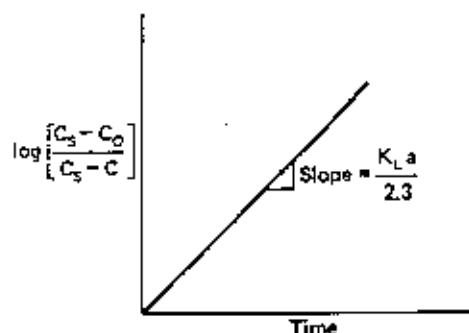
di mana :

R = oksigen utilization rate dari biomass,  
masss.volume<sup>-1</sup>time<sup>-1</sup>

Pada kondisi steady state, kecepatan transfer oksigen dengan sistem aerasi adalah sama dengan kecepatan utilization oksigen oleh biomass



Nilai  $K_L a$  dapat diperoleh berdasarkan gambar 18):



Gambar 2.17. Grafik Overall Oxyen Transfer Koefisien

Secara umum oksigen utilization rate pada suatu activated sludge adalah sangat cepat dan sukar untuk diukur. Untuk memecahkan permasalahan ini maka dianjurkan bahwa biomass diambil pada sumber external pada saat 1 - 2 jam sebelum dilakukan pengetesan. Pada akhir waktu tersebut maka oksigen utilization rate diharapkan hanya untuk respirasi endogenous dan akan mudah diukur.

---

18)

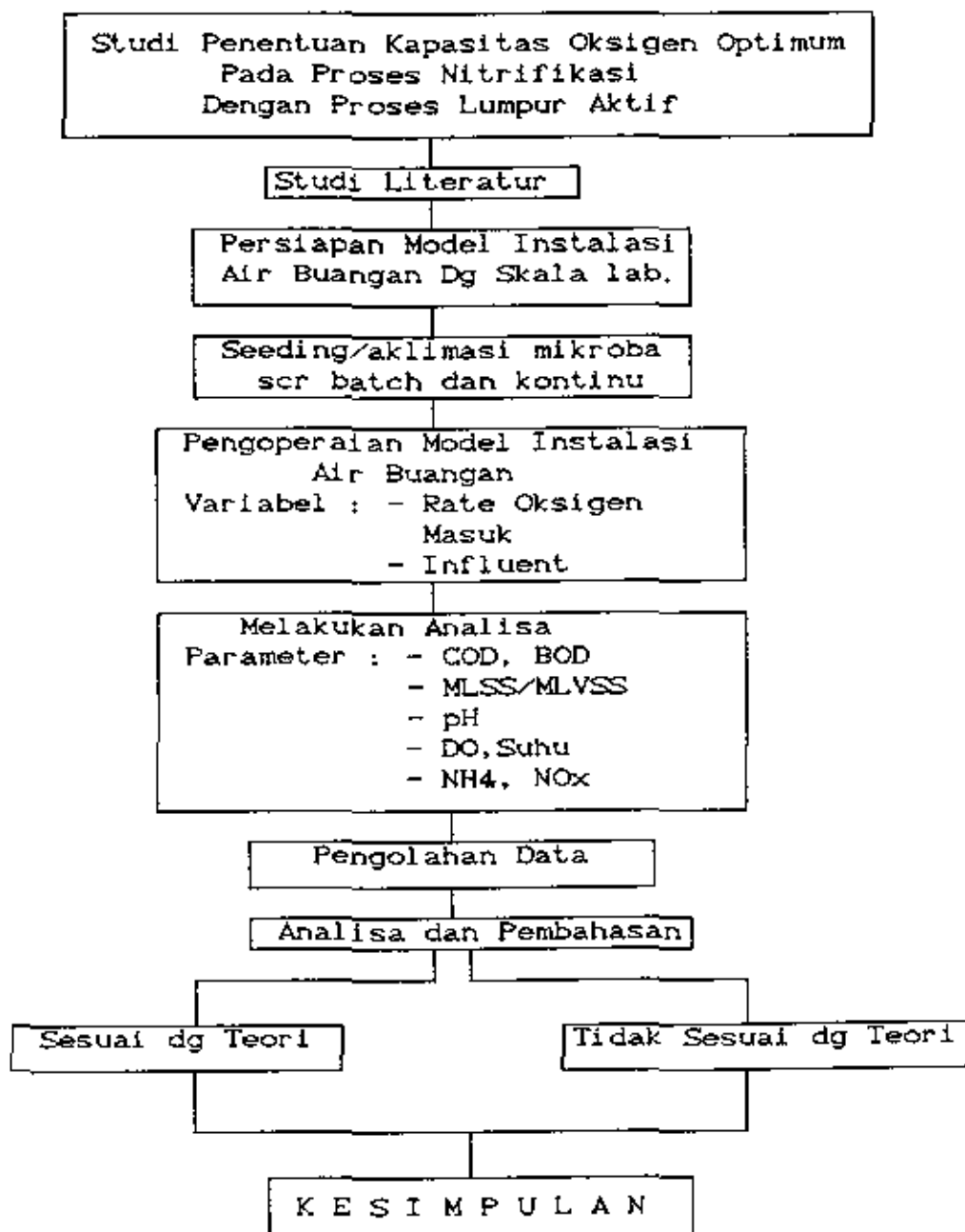
Benefield, Larry D., Randall, CW., "Biological Process Design for Wastewater Treatment", 1980  
hal. 291

# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

---

### 3.1. KERANGKA PENELITIAN



### 3.2. TAHAPAN PENELITIAN

#### 3.2.1. MODEL INSTALASI PENGOLAHAN,

Karena yang diolah adalah air buangan, maka pada penelitian ini digunakan suatu model instalasi air buangan dengan menggunakan proses lumpur aktif (*Activated Sludge Process*) *Continuous Flow Reaktor*, yang terdiri dari :

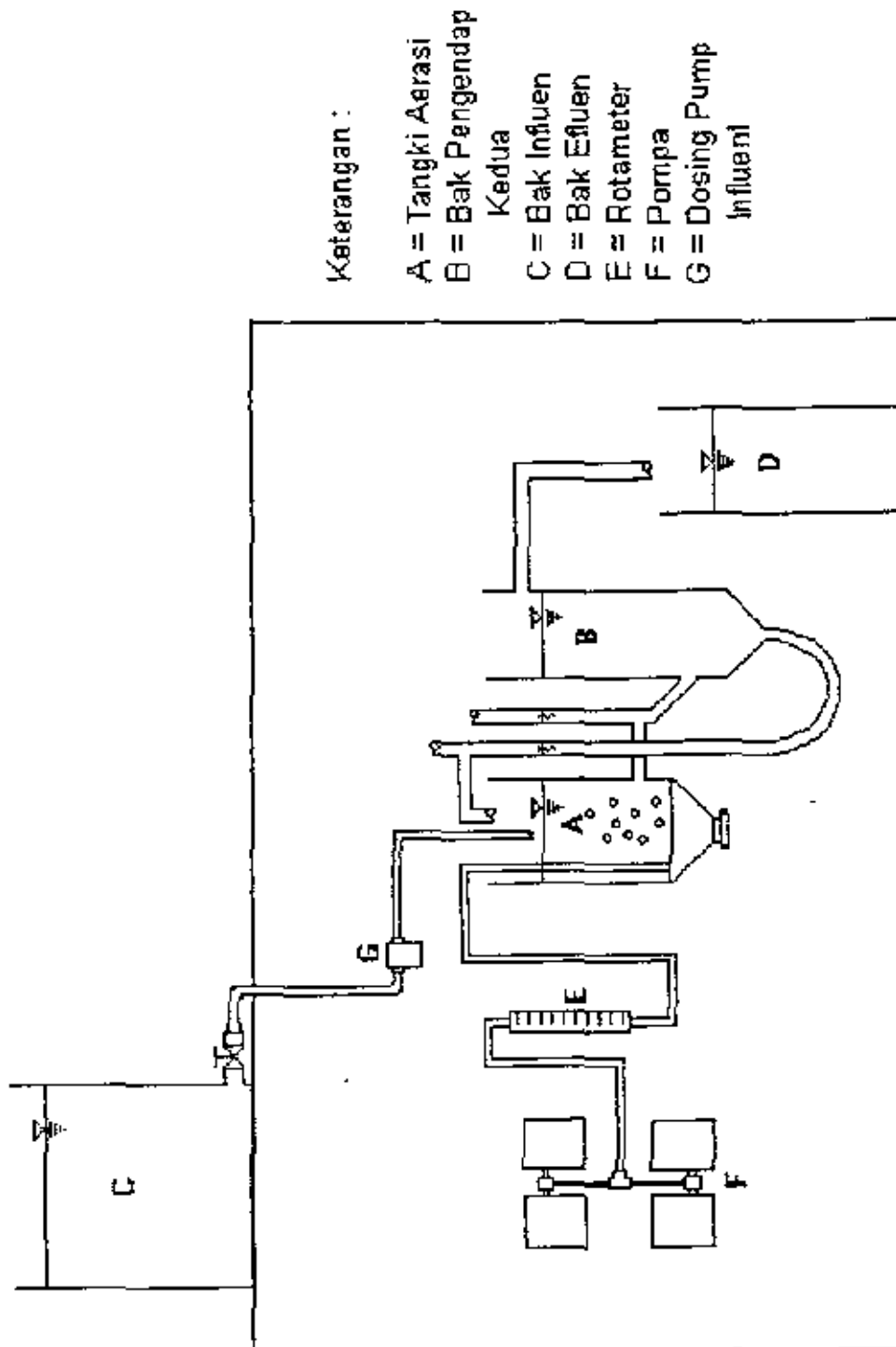
- # 1 buah tangki aerasi (reaktor)
- # 1 buah tangki sedimentasi (clarifier)
- # 1 buah pipa resirkulasi dari clarifier menuju ke reaktor

Reaktor pengolahan ini dibuat dari bahan fleksiglass dengan ukuran - ukuran tertentu yaitu :

- Tangki Aerasi (Reaktor) : diameter = 14 cm  
tinggi tabung = 28 cm  
tinggi kerucut = 4 cm
- Clarifier : diameter = 8 cm  
tinggi tabung = 47 cm  
tinggi kerucut = 10.5 cm

Pada tangki reaktor diberikan suatu aerator yaitu jenis *Bubble Aerator* berbentuk lingkaran sebagai supplier oksigen dengan ukuran :

- diameter luar = 21 cm
- diameter dalam = 19 cm



Gambar 3.1 Model Activated Sludge

### 3.2.2. PEMBENIHAN/SEEDING DAN AKLIMASI MIKROBA

Untuk memperoleh konsentrasi mikroorganisme yang cukup (jumlah massa mikroba mencukupi), maka dilakukan seeding, untuk tujuan proses penurunan senyawa N.

Seeding dilakukan secara batch, di mana reaktor diisi dengan makanan (substrat) dengan konsentrasi BOD rendah, kemudian diisi dengan bibit mikroorganisme dari lumpur pengolahan yang telah ada. Setelah satu hari, reaktor dijalankan secara kontinyu. Selama proses ini diamati terus menerus nilai pH, DO, VSS dan PV. Apabila massa biologis sudah mencapai kira-kira 2500 mg/l maka dilakukan sampling.

### 3.2.3. KOMPOSISI AIR LIMBAH UNTUK FEEDING.

Feeding dilakukan dengan menggunakan air limbah buatan dengan komposisi tertentu. Sumber carbon organik diperoleh dari glukosa, sumber N dari  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dan sumber Phosphor dari  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Sebagai penunjang pertumbuhan mikroorganisme diberikan trace elemen yaitu  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  dan penambahan soda kue (Na-Bicarbonat) untuk menjaga alkalinitas. Selain itu ditambahkan juga susu dan agar brooth sebagai tambahan makanan bagi mikroorganisme.

### 3.2.4. KONDISI OPERASIONAL,

Pada penelitian ini digunakan variabel rate udara yang masuk ke reaktor dan perbandingan BOD : N : P yang berbeda yaitu 100:5:1, 100:10:1, 100:20:1.

Tabel 3.1 Kondisi Operasional Penelitian

No Percb.	Rate Udara masuk, l/menit	Beban BOD mg/l	Beban N mg/l
1	4	100	5
2	6	100	5
3	10	100	5
1	4	100	10
2	6	100	10
3	10	100	10
1	4	100	20
2	6	100	20
3	10	100	20

Sedangkan parameter-parameter yang merupakan konstanta pada penelitian ini adalah :

- Q-influent = 10 ml/menit
- Suhu =  $(29 \pm 2)^{\circ} \text{C}$
- $t_d$  = 4.33 jam
- $Q_r$  = 200 %
- pH influent =  $\geq 8$
- pH operasi = 7 - 8

### 3.2.5. PARAMETER YANG DIKONTROL,

Selama pengoperasian dilakukan pengontrolan terhadap parameter :

- Temperatur diamati 4 kali sehari
- Debit yang menentukan  $t_d$ , diukur 4 kali sehari
- pH dilakukan pengukuran 4 kali sehari
- Pembuangan lumpur dilakukan 4 kali sehari
- Pengukuran Permanganat Value 2 kali sehari, sampai dicapai nilai  $\pm 10 \%$ , maka sistem sudah steady, sudah bisa dilakukan sampling.

### 3.2.6. PARAMETER YANG DIANALISA,

#### 3.2.6.1. COD (Chemical Oxygen Demand)

COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik secara kimiawi. pemeriksaan COD merupakan salah satu cara untuk menentukan kadar zat organik dalam air buangan secara kimiawi.

Analisa COD meliputi :

- Pemeriksaan COD  $\text{KMnO}_4$ .

Pemeriksaan ini untuk mengetahui keadaan steady / tunak pada saat sebelum dilakukan sampling.

- Pemeriksaan COD  $K_2Cr_2O_7$

Karena  $K_2Cr_2O_7$  merupakan oksidator yang lebih kuat dari  $KMnO_4$ , maka hasilnya akan lebih akurat.

Pemeriksaan dan penetapannya sesuai dengan *Standard Methods* dengan metoda "Bichromat Reflux", dilakukan pada saat sampling.

3.2.6.2. BOD (BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND),

Adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menstabilisasi substrat organik secara biokimiawi dalam kondisi aerobik.

Sebagai contoh, BOD dari glukosa  $C_6H_{12}O_6$  dapat dihitung berdasarkan oksigen yang dibutuhkan untuk menstabilisir glukosa dalam bentuk  $CO_2$  dan  $H_2O$ , oleh mikroba :



Secara teoritis, kandungan glukosa sebesar 1 mg/l akan menghasilkan BOD sebesar :

$$BOD = \frac{192}{180} \times 1 \text{ mg/l}$$
$$= 1.066 \text{ mg/l}$$





Reaksi penggunaan oksigen berlangsung secara lengkap pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  selama 20 hari, tetapi berdasarkan percobaan diketahui bahwa persentase terbesar dari total BOD terjadi pada 5 hari. Sehingga untuk memudahkan penetapan biasanya dipakai nilai BOD 5 hari pada  $20^{\circ}\text{C}$ .

Penetapannya sesuai dengan "Standard Methods" dengan metoda pengenceran.

#### 3.2.6.3. PEMERIKSAAN OKSIGEN TERLARUT (DO),

Pemeriksaan oksigen terlarut tujuannya untuk mengetahui konsentrasi DO pada reaktor, yang akan sangat berpengaruh terhadap proses nitrifikasi.

Pemeriksaan DO berdasarkan reaksi antara Na-tiosulfit :



Secara teoritis, setiap 1 mg/l  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  membutuhkan 7.9 mg/l Oksigen untuk membentuk  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Pemeriksaan dilakukan sesuai dengan "Standard Methods" dengan metoda "Winkler"

#### 3.2.6.4. PEMERIKSAAN NITRAT DAN NITRIT,

Pemeriksaan nitrit dan nitrat N-(nitrat + nitrit) atau NO<sub>x</sub> dilakukan untuk mengetahui efisiensi proses nitrifikasi pada lumpur aktif.

##### - Pemeriksaan Nitrat

Pemeriksaan Nitrat dilakukan sesuai dengan "Standard Methods" dengan menggunakan Spektrofotometer. Sampel yang mengandung nitrat bila ditambahkan larutan Brucine Acetat dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> pekat akan menghasilkan warna dan dideteksi dengan spektrofotometer pada  $\lambda = 400$  nm. Pembacaan skala absorban pada spektrofotometer diplot pada kurva standard nitrat sehingga konsentrasi nitrat dalam sampel diketahui.

##### - Pemeriksaan Nitrit

Pemeriksaan nitrit dilakukan sesuai dengan "Standard Methods" , sampel yang mengandung nitrit bila ditambahkan sulfanilic acid dan NED Dihydrochlorit akan menghasilkan warna ungu. Dideteksi dengan spektrofotometer pada  $\lambda = 540$  nm. Pembacaan absorban pada alat spektrofotometer diplot pada kurva standard nitrit sehingga didapatkan nilai nitrit dari sampel.

### 3.2.6.5. PEMERIKSAAN AMMONIUM.

Pemeriksaan ammonium pada proses nitrifikasi dengan lumpur aktif dimaksudkan untuk mengetahui penurunan  $\text{NH}_4^+$ .

Pemeriksaan  $\text{NH}_4^+$  ini dengan menggunakan metoda "Nessler" sesuai dengan "Standard Methods".

Sampel yang mengandung ammonium bila ditambahkan dengan garam Siegnet dan larutan Nessler akan menghasilkan warna kuning - oranye. Hasil pembacaan pada spektrofotometer pada  $\lambda = 420 \text{ nm}$  diplot pada kurva standard ammonium sehingga didapatkan konsentrasi ammonium sampel.

### 3.2.6.6. PEMERIKSAAN SUSPENDED SOLID (SS).

Pemeriksaan suspended solid bertujuan untuk mengetahui jumlah biomass yang berperan dalam proses nitrifikasi pada lumpur aktif.

Pemeriksaan suspended solid terdiri dari :

#### - Pemeriksaan MLSS (Mixed Liquor Suspended Solid)

Lumpur yang telah disaring dengan tabung sentrifugal (terpisah dari filtratnya) dimasukkan ke dalam cawan yang telah diketahui beratnya, kemudian diuapkan pada oven dengan temperatur  $105^\circ\text{C}$  selama 1

jam. Setelah dimasukkan ke dalam desikator agar dingin dan beratnya stabil, dilakukan penimbangan dengan neraca analitis .

Nilai MLSS didapatkan sebagai berikut :

$$MLSS_{(mg/l)} = \frac{C_{105^{\circ}} - C_o}{V}$$

di mana :

$C_{105^{\circ}}$  = Berat cawan dan sampel pada  $105^{\circ}C$

$C_o$  = Berat cawan murni

$V$  = Volume sampel

#### - Pemeriksaan MLFSS

Nilai MLFSS diperoleh dengan memanaskan MLSS yang telah diketahui beratnya pada suhu  $550 - 600^{\circ}C$  selama 30 menit pada vurnace kemudian pemanasan dilanjutkan pada oven  $105^{\circ}C$  selama satu jam.

Nilai MLFSS didapatkan sebagai berikut :

$$MLFSS_{(mg/l)} = \frac{C_{600^{\circ}} - C_o}{V}$$

di mana :  $C_{600^{\circ}}$  = Berat cawan dan sampel pada  $600^{\circ}C$

$C_o$  = Berat cawan murni

$V$  = Volume sampel

Sedangkan nilai MLVSS dapat dicari sebagai berikut

$$MLVSS_{(mg/l)} = MLSS - MLFSS$$

### 3.2.7. METODA SAMPLING,

Sampling dilakukan pada dua titik yaitu pada influent dan pada effluent untuk parameter pH, COD, BOD,  $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NOx}$ . Sedangkan untuk parameter lainnya seperti DO, MLSS, MLVSS, pH dan temperatur dilakukan pada reaktor.

Untuk lebih jelasnya maka pemeriksaan setiap parameter pada tiap titik sampling ditampilkan dalam bentuk tabel berikut :

Tabel 3.2. Titik Sampling Penelitian

Titik Sampling	Parameter Yang Dianalisa
- Influent	BOD, COD, pH, $\text{NH}_4^+$ , $\text{NOx}$
- Reaktor	pH, Suhu, MLSS, MLVSS, DO
- Effluent	BOD, COD, $\text{NH}_4^+$ , $\text{NOx}$ .

### 3.2.8. ANALYTICAL QUALITY CONTROL (AQC),

AQC dilakukan untuk mengetahui ketepatan (akurasi) dan ketelitian (precision) dari data yang dihasilkan, sehingga kesalahan yang ditimbulkan tidak begitu besar.

Akurasi, merupakan perbedaan antara nilai hasil pengukuran (nilai rata-rata beberapa hasil pengukuran) dengan nilai pengukuran yang sebenarnya.

Presisi, berhubungan erat dengan penyebaran data-data pengukuran yang dihasilkan terhadap nilai rata-rata pengukurannya, yang biasanya dituliskan sebagai nilai standard deviasi.

Ada 2 (dua) jenis AQC yaitu *External Analytical Quality Control* (bertujuan untuk melihat ketelitian dan ketepatan analisa antar laboratorium) dan *Internal Analytical Quality Control* (bertujuan untuk melihat ketelitian dan ketepatan analisa dari laboran).

Pada penelitian ini dilakukan IAQC terhadap N-Nitrat, N-Ammonium, N-Nitrit dan COD.

## B A B IV

### HASIL PENELITIAN DAN ANALISA DATA

---

#### 4.1. GAMBARAN UMUM

Pada bab ini disajikan hasil penelitian dan analisa terhadap data penelitian yang telah dilaksanakan yang menyangkut parameter-parameter penelitian, yaitu Rate Udara yang masuk ke dalam reaktor dan Komposisi Influent.

Hasil penelitian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Tampilan dalam bentuk tabel memuat nilai-nilai dari suspended solid, BOD, COD, pH, DO, Rate Udara , temperatur serta parameter lain yang mendukung penelitian. Sedangkan tampilan dalam bentuk grafik tujuannya untuk memudahkan pembaca dalam melihat hasil penelitian.

#### 4.2. HASIL PENELITIAN

Tabel 4.1 , 4.2 dan 4.3 memuat hasil penelitian yang mencakup efisiensi pengurangan BOD, COD, nilai pH, DO dan temperatur serta nilai MLSS-MLVSS akibat pengaruh dari rate udara yang berbeda-beda pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 , 100:10:1 , dan 100:20:1.

Sedangkan hubungan antara rate udara yang masuk dengan efisiensi penurunan nilai BOD dan COD dapat dilihat pada grafik 4.1 dan grafik 4.2.

Tabel 4.4, 4.5 dan 4.6 memperlihatkan nilai-nilai prosentase removal dari  $\text{NH}_4^+$ , pembentukan  $\text{NO}_x$ , efisiensi  $\text{NH}_4^+$  dan efisiensi nitrifikasi akibat variasi rate udara yang masuk, pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1, 100:10:1 dan 100:20:1. Selain itu disertakan juga nilai DO, pH dan temperatur.

Grafik 4.3 dan 4.4 menunjukkan efisiensi removal  $\text{NH}_4^+$  dan efisiensi nitrifikasi pada berbagai rate udara yang masuk ke reaktor.

Sebagai informasi yang cukup penting, maka ditampilkan grafik hubungan antara lamanya waktu aerasi terhadap efisiensi penurunan  $\text{NH}_4^+$  dan efisiensi nitrifikasi pada berbagai perbandingan BOD:N:P, yaitu pada grafik 4.5 , 4.6, 4.7, 4.8 dan 4.9.



Penelitian secara Batch Process dilakukan untuk mengetahui kemampuan mikroba dalam menerima transfer oksigen pada berbagai konsentrasi BOD:N:P dan berbagai laju aliran udara. Kemampuan mikroba menerima transfer oksigen ini dinyatakan sebagai *Oksigen Utilization Rate*, di mana hasil penelitian ditampilkan pada tabel 4.7, 4.8 dan 4.9. Sedangkan grafik yang menunjukkan hubungan antara Oksigen Utilization Rate dengan pertumbuhan massa mikroba diperlihatkan pada grafik 4.10, 4.11 dan 4.12, untuk perbandingan BOD : N : P = 100 : 5 : 1. Untuk perbandingan BOD : N : P = 100 : 10 : 1 diperlihatkan pada grafik 4.13, 4.14 dan 4.15. Dan grafik 4.16, 4.17 serta 4.18 menunjukkan hasil penelitian pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1.



Tabel 4.2. NILAI BOD, COD, MLSS - MLVSS PADA BOD/N:P = 100:12:1

BOD	COD	MLSS	MLVSS	BOD/N	COD/N	MLSS/N	MLVSS/N	BOD/P	COD/P	MLSS/P	MLVSS/P	BOD/N:P	COD/N:P	MLSS/N:P	MLVSS/N:P	BOD/N:P	COD/N:P	MLSS/N:P	MLVSS/N:P
4			205	4	12	200	0.15	2523	2259		57			57.55	0.45	1.2	7.2		50
6	100	75	195	4	12	200	0.15	2412	2051	35	75	50.60		50.10	0.45	1.1	7.1		29
12			239	4	12	200	0.15	2099	1699		51			50.11	0.45	0.9	7.0		29
24			235	4	12	200	0.15	2403	2043		59			70.39	0.67	1.1	6.9		26
4			225	5	12	200	0.15	2559	2160		35			54.21	0.75	2.4	7.2		29
6	100	65	220	5	12	200	0.15	2721	2177	27	34	55.31		54.55	0.75	2.6	7.0		30
12			230	5	12	200	0.15	2758	2237		32			55.03	0.54	2.4	7.3		30
24			224	5	12	200	0.15	2604	2244		29			57.05	0.93	2.8	7.1		30
4			222	10	12	200	0.15	2736	2192		29			55.94	0.53	4.4	7.2		29
6	100	55	210	10	12	200	0.15	2786	2249	25	27	70.33		57.14	0.92	4.6	7.2		29
12			215	10	12	200	0.15	2754	2345		29			57.16	0.59	4.2	6.9		30
24			195	10	12	200	0.15	2512	2431		27			55.22	0.52	4.7	7.1		30

Tabel 4.3. NILAI BCO, COO, MLSS-MLV8 PADA BOD:N:P = 100:20:1

4			200	4	12	200	0.15	2372	1906		65		57.50	0.86	1.1	7.2	30
8	100	94	205	4	12	200	0.15	2269	1832	36	64	59.57	66.78	0.58	1.0	7.0	30
12			180	4	12	200	0.16	2310	1848		57		66.34	0.87	0.8	7.1	29
24			164	4	12	200	0.16	2422	1937		52		73.19	0.79	1.0	6.9	30
4			179	5	12	200	0.15	2631	2104		44		75.28	0.63	2.3	7.1	29
8	100	99	198	5	12	200	0.16	2603	2241	25	46	66.54	76.77	0.61	2.9	7.0	28
12			203	6	12	200	0.16	2684	2319		39		80.79	0.71	2.5	7.1	29
24			202	5	12	200	0.16	2673	2412		33		83.66	0.85	3.5	7.0	29
4			192	10	12	200	0.16	2660	2369		29		84.59	0.66	3.4	7.0	31
8	100	79	197	10	12	200	0.15	2662	2361	17	27	76.45	86.29	0.69	4.1	7.2	30
12			208	10	12	200	0.16	3027	2416		27		87.02	0.63	4.9	7.1	30
24			184	10	12	200	0.16	3057	2448		23		87.50	0.74	4.6	7.1	30

Tabel 4.4. NILAI  $\text{NH}_4$ , NO<sub>x</sub>, EFFISIENSI  $\text{NH}_4$  dan NITRIKASI PADA BOD : N : P = 100 : 5 : 1

Waktu Pengambilan Sampel			Konsentrasi			Efisiensi			Efisiensi			Efisiensi			Efisiensi		
Tipe Lumpur	Waktu Pengambilan Sampel	Konsentrasi	Waktu Pengambilan Sampel	Konsentrasi	Waktu Pengambilan Sampel	Waktu Pengambilan Sampel	Konsentrasi	Waktu Pengambilan Sampel	Waktu Pengambilan Sampel	Konsentrasi	Waktu Pengambilan Sampel	Waktu Pengambilan Sampel	Konsentrasi	Waktu Pengambilan Sampel	Waktu Pengambilan Sampel	Konsentrasi	
4	5	5.12	4	12	200	0.18	4.31	0.68	15.82	0.00	0.9	6.9	28				
6	5	5.16	4	12	200	0.18	4.21	0.96	18.41	0.00	1.2	7.1	29				
12	5	4.98	4	12	200	0.18	4.08	0.86	17.48	0.00	1.1	7.0	29				
24	5	5.08	4	12	200	0.18	3.89	0.89	27.98	0.00	1.4	7.1	31				
4	5	4.87	6	12	200	0.18	2.42	0.86	50.31	0.00	2.1	7.2	30				
8	5	5.18	6	12	200	0.18	2.26	1.12	58.21	0.00	2.9	6.8	30				
12	5	5.11	6	12	200	0.18	1.98	1.08	61.84	0.00	2.8	7.3	30				
24	5	5.14	6	12	200	0.18	2.04	0.98	60.31	0.00	3.0	7.2	29				
4	5	5.06	10	12	200	0.18	2.11	1.28	59.68	0.00	3.9	7.2	29				
8	5	4.98	10	12	200	0.18	1.78	1.08	64.52	0.00	3.8	7.1	30				
12	5	5.18	10	12	200	0.18	1.48	1.88	71.43	0.00	4.6	7.2	30				
24	5	5.21	10	12	200	0.18	1.52	1.82	70.83	0.00	4.2	7.0	30				

Tabel 4.5. NILAI  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ , EFFISIENSI  $\text{NH}_4$  dan NITRIKASI PADA BOD : N : P = 100 : 10 : 1

Tipe Limbah	INFLUENT				KONSTANTA				EFFLUENT				Efisiensi	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	DO (mg/l)	pH	Suhu (°C)
	Waktu tinggal (hr)	Waktu tinggal (hr)	Waktu tinggal (hr)	Waktu tinggal (hr)	Cu	P	N	Waktu tinggal (hr)	Waktu tinggal (hr)	Waktu tinggal (hr)	Waktu tinggal (hr)						
4	10	11.81	4	12	200	0.18	7.51	2.98	36.49	2.02	1.2	7.2	30				
8	10	12.04	4	12	200	0.18	7.96	3.15	33.72	3.29	1.1	7.1	29				
12	10	10.92	4	12	200	0.18	6.93	3.28	36.53	4.68	0.9	7.0	29				
24	10	9.86	4	12	200	0.18	5.96	3.62	39.96	2.12	1.1	6.9	28				
4	10	12.21	6	12	200	0.18	6.24	3.77	48.89	24.32	2.4	7.2	29				
8	10	11.88	6	12	200	0.18	5.46	4.86	53.06	26.88	2.6	7.0	30				
12	10	11.88	6	12	200	0.18	5.06	5.18	57.76	35.74	2.4	7.3	30				
24	10	12.13	6	12	200	0.18	5.09	5.27	58.04	36.46	2.8	7.1	30				
4	10	12.09	10	12	200	0.18	4.96	5.98	55.61	39.38	4.4	7.2	29				
8	10	11.66	10	12	200	0.18	4.96	6.12	57.46	34.14	4.6	7.2	29				
12	10	12.26	10	12	200	0.18	4.78	6.22	61.17	40.29	4.2	6.9	30				
24	10	11.93	10	12	200	0.18	3.89	6.18	67.99	47.91	4.7	7.1	30				

Tabel 4.6. NILAI  $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ , EFFISIENSI  $\text{NH}_4$  dan NITRIKASI PADA BOD : N : P = 100 : 20 : 1

Tahun Jalan	INFLUENT		KONSTANTA			EFFLUENT			Efisiensi %	Efisiensi %	DO mg/l	pH	Suhu °C
	Waktu menit	Nilai mg/l	Co mg/l	K	1/n	NH4-N mg/l	NO3-N mg/l	TP mg/l					
4	20	23.61	4	12	200	0.18	16.89	2.98	26.46	16.08	1.2	7.2	30
8	20	21.82	4	12	200	0.18	15.12	3.15	30.71	15.08	1.1	7.1	29
12	20	22.33	4	12	200	0.18	15.82	3.28	29.15	15.46	0.9	7.0	29
24	20	21.86	4	12	200	0.18	14.81	3.82	31.82	18.19	1.1	6.9	28
4	20	22.82	6	12	200	0.18	13.06	3.77	42.77	31.11	2.4	7.2	29
8	20	23.48	6	12	200	0.18	11.98	4.86	48.98	38.14	2.6	7.0	30
12	20	22.61	6	12	200	0.18	9.89	5.18	56.26	46.11	2.4	7.3	30
24	20	21.93	6	12	200	0.18	8.66	5.27	60.51	50.52	2.8	7.1	30
4	20	21.44	10	12	200	0.18	6.79	5.98	68.33	60.27	4.4	7.2	29
8	20	23.68	10	12	200	0.18	6.54	6.12	72.38	66.19	4.6	7.2	29
12	20	22.49	10	12	200	0.18	6.12	6.22	72.78	66.09	4.2	6.9	30
24	20	22.82	10	12	200	0.18	6.16	6.18	73.00	68.39	4.7	7.1	30

Tabel 4.7. DATA OKSIGEN UTILIZATION RATE PADA BOD:N:P = 100:5:1

Time Jam	Q - UDARA = 4 l/menit		Q - UDARA = 6 l/menit		Q - UDARA = 10 l/menit	
	DO mg/l	MLVSS mg/l	DO mg/l	MLVSS mg/l	DO mg/l	MLVSS mg/l
0	1.96	2487	3.45	2589	4.88	2571
2	1.42	2504	2.86	2603	4.63	2599
4	1.11	2567	2.61	2648	3.87	2607
6	0.98	2601	2.43	2633	3.12	2633
12	0.87	2632	2.26	2701	2.99	2689
24	0.76	2600	2.30	2689	3.01	2690
48	0.7	2642	2.33	2687	3.09	2705



Tabel 4.8. DATA OKSIGEN UTILIZATION RATE PADA BOD:N:P=100:10:1

Time Jam	Q-UDARA 4 l/menit		Q-UDARA 6 l/menit		Q-UDARA 10 l/menit	
	DO mg/l	MLVSS mg/l	DO mg/l	MLVSS mg/l	DO mg/l	MLVSS mg/l
0	1.96	2404	3.57	2582	5.06	2599
2	1.51	2435	3.09	2591	4.98	2593
4	1.32	2489	2.78	2607	4.86	2501
6	1.09	2506	2.44	2611	4.66	2643
12	0.89	2597	2.26	2648	4.72	2666
24	0.91	2623	2.30	2632	3.91	2644
48	0.87	2619	2.22	2623	3.79	2597

Tabel 4.9. DATA OKSIGEN UTILIZATION RATE PADA BOD:N:P=100:20:1

Time Jam	Q-UDARA 4 l/menit		Q-UDARA 6 l/menit		Q-UDARA 10 l/menit	
	DO mg/l	MLVSS mg/l	DO mg/l	MLVSS mg/l	DO mg/l	MLVSS mg/l
0	1.98	2218	3.45	2375	4.88	2403
2	1.63	2248	2.86	2401	4.63	2432
4	1.29	2301	2.61	2398	3.87	2428
6	1.08	2361	2.43	2412	3.12	2436
12	0.93	2406	2.26	2478	2.99	2501
24	1.03	2403	2.30	2476	3.01	2489
48	1.10	2389	2.33	2479	3.09	2490

#### 4.3. ANALISA DATA HASIL PENELITIAN

##### 4.3.1. PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA TERHADAP EFFISIENSI PENURUNAN PARAMETER BOD - COD

Pada penelitian ini terjadi *Aerobic Suspended Growth Process* di mana sejumlah mikroorganisme aerobik ataupun fakultatif aerobik menyisihkan sejumlah tertentu komponen air limbah dan membentuk sel-sel baru, sehingga bisa dihasilkan efisiensi pengolahan yang cukup tinggi.

Faktor-faktor penting yang berperan pada proses aerobik selain perbandingan jumlah nutrient pada substrat adalah keberadaan oksigen yang cukup bagi sel - sel bakteri untuk melakukan respirasi endogenous, dan pembentukan energi. Selain itu inorganik element seperti nitrogen dan phosphor dan beberapa jenis trace element lainnya seperti sulfur, pottasium, kalsium dan magnesium juga sangat vital bagi perkembangan mikroorganisme.

Faktor lingkungan seperti pH dan temperatur harus diperhitungkan di dalam suatu pengolahan biologis. Karena ada beberapa jenis mikroorganisme yang tidak dapat tumbuh baik pada pH dan temperatur yang sangat tinggi. Tetapi secara umum bakteri aerobik dapat tumbuh baik pada pH antara 7 - 8, dan biasanya tergolong

*Analisa Data*

bakteri mesophilik (hidup pada temperatur 25 - 40 °C). Sedangkan pada penelitian yang telah dilakukan, faktor lingkungan tersebut seperti pH sedapat mungkin dikontrol dengan cara menjaga alkalinitas influen.

Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa secara umum pada berbagai perbandingan BOD:N:P efisiensi penghilangan BOD dan COD paling baik terjadi pada laju aliran udara maksimum yaitu 10 l/menit, yang ditunjukkan dengan pertumbuhan mikroorganisme yang sehat seperti yang terlihat pada tabel 4.1, 4.2 dan 4.3. Karena apabila laju aliran udara semakin besar maka akan meningkatkan nilai DO pada reaktor. Secara otomatis apabila DO semakin besar maka pertumbuhan mikroba semakin baik, sehingga kemampuan untuk menyisihkan zat organik menjadi semakin baik pula. Pada laju aliran udara yang minimum sebesar 4 l/menit, DO terukur berkisar antara 0.9 - 1.9 mg/l, tentu saja tidak akan cukup bagi mikroorganisme untuk melakukan sintesa untuk pertumbuhannya dan membentuk sel-sel baru serta energi. Kandungan DO dengan nilai tersebut merupakan suatu kondisi yang sangat kurang bagi suatu pengolahan aerobik. Di mana perlu diingat bahwa pada pengolahan aerobik DO yang harus disediakan minimal 2 mg/l agar proses dapat berjalan.

Pada laju aliran udara sekitar 6 l/menit, pertumbuhan mikroba terlihat mulai membaik, karena DO terukur sekitar 2.2 - 3.2 mg/l. Seiring dengan hal tersebut, maka terjadi pula peningkatan efisiensi penyisihan BOD - COD .

Grafik 4.1 dan grafik 4.2 menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan BOD dan COD terbaik terjadi pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1. Untuk BOD efisiensi adalah sebesar 80 % dan untuk COD berkisar sekitar 90 %. Sedangkan untuk perbandingan BOD:N:P = 100:10:1 efisiensi penyisihan sekitar 70 % untuk BOD dan COD sekitar 85 %. Demikian juga untuk perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 efisiensi BOD sebesar 70 % dan COD sebesar 81%.

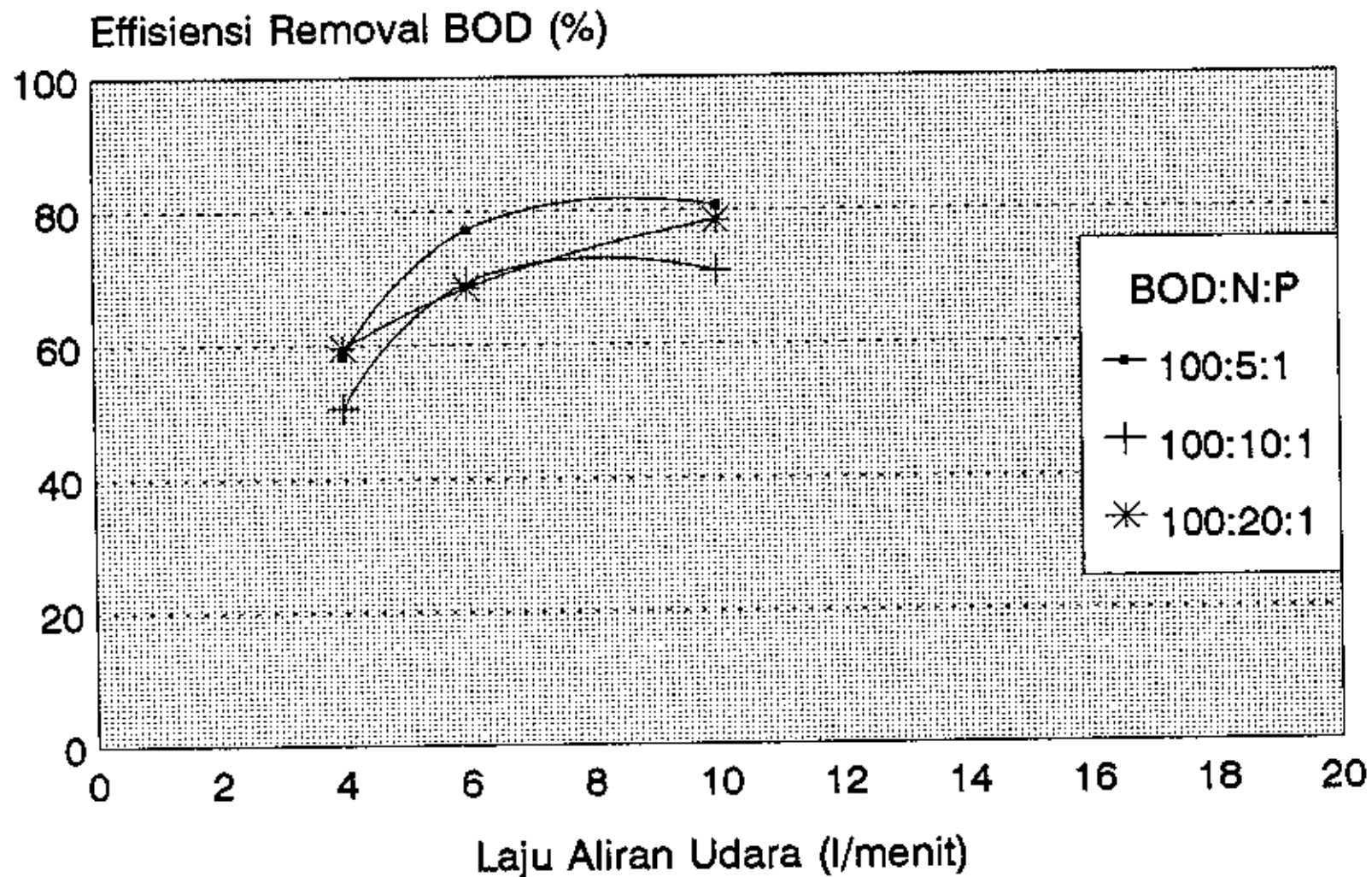
Ada beberapa pendapat untuk menjelaskan permasalahan tersebut, yaitu pada perbandingan BOD:N:P 100: 5:1 kemungkinan terbesar yang tumbuh paling baik adalah bakteri pengurai carbon yang termasuk jenis bakteri *heterotroph* di mana bakteri tersebut akan tumbuh baik apabila substrat yang ada berlebih dan oksigen yang tersedia mencukupi. Karena pada air limbah dengan perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 kandungan substrat (sumber carbon didapat dari glukosa) konsentrasinya lebih besar dari konsentrasi N dan P. Walaupun proses yang diinginkan adalah nitrifikasi pada lumpur

*Analisa Data*

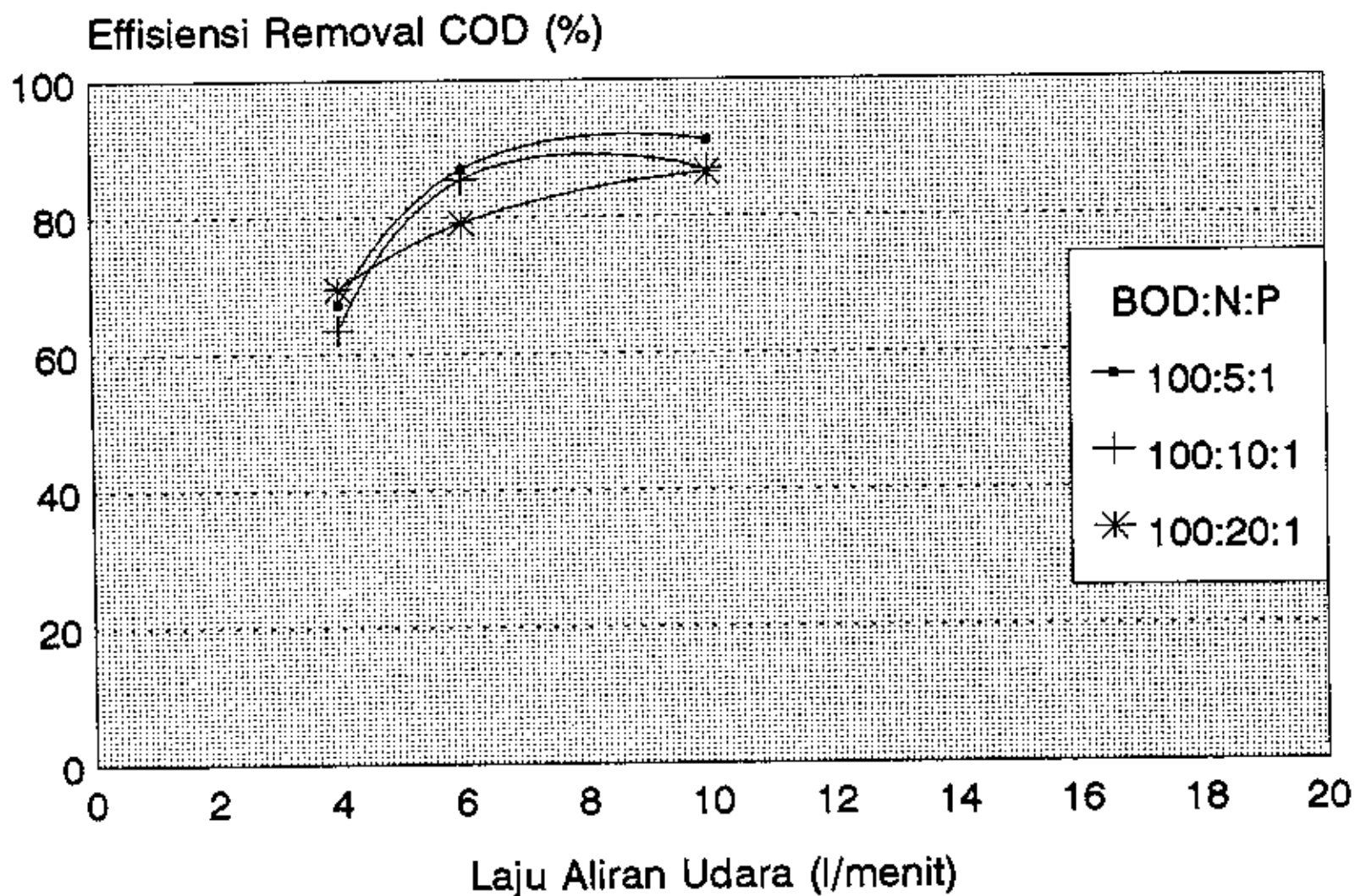
aktif, tetapi itu bukan berarti bakteri pengurai senyawa N tidak terdapat pada proses tersebut, karena perlu diingat bahwa pada proses lumpur aktif mikroorganisme yang ada bukanlah kultur murni suatu jenis bakteri saja akan tetapi terdiri dari berjenis-jenis bakteri (Mixed Culture) dan jenis bakteri *autotroph* merupakan salah satu yang terdapat di dalam kultur campuran tersebut. Hanya saja kondisi lingkungan tidak begitu mendukung pertumbuhan sel bakteri *autotroph* tersebut. Seperti kita ketahui bahwa sumber energi untuk bakteri *autotroph* berasal dari karbondioksida dan inorganik element, selain itu pertumbuhan bakteri *heterotroph* lebih cepat dari bakteri *autotroph*, sehingga walaupun kondisi lingkungan seperti di atas dan oksigen cukup berlebih bakteri *autotroph* akan kalah bersaing dengan bakteri *heterotroph* dalam menggunakan oksigen.

Pertumbuhan bakteri *autotroph* semakin baik pada perbandingan BOD:N:P = 100 :10:1 dan 100:20:1, hal ini dapat dilihat pada grafik 4.1 dan 4.2 di mana efisiensi penyisihan BOD dan COD cenderung menurun. Hal ini dikarenakan bakteri *autotroph* mulai terbiasa dengan lingkungan, di mana jumlah substrat tetap tetapi jumlah inorganik element bertambah konsentrasinya.

Grafik 4.1. Hub. Laju Aliran Udara Thd Removal BOD



Grafik 4.2. Hub. Laju Aliran Udara Thd Removal COD





Dari grafik 4.1 dan grafik 4.2 terlihat bahwa pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 dan 100:10:1 laju aliran udara optimum yang dibutuhkan adalah sekitar 6.5 - 7.0 l/menit dan pada saat laju aliran udara 10 l/menit penyisihan BOD dan COD pada kedua perbandingan BOD : N : P tersebut sudah mulai stabil. Bisa dikatakan bahwa kandungan DO sekitar 2.2 mg// - 3.2 mg/l (laju aliran udara sebesar 6 l/menit menghasilkan nilai DO 2.2-3.2 mg/l) sudah cukup untuk menyisihkan kandungan BOD dan COD pada perbandingan 100:5:1 dan 100:10:1. Tetapi dari grafik terlihat bahwa pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1, dan laju aliran udara 10 l/menit masih terlihat kenaikan, hal ini bisa saja disebabkan karena kandungan N semakin tinggi sehingga udara yang dibutuhkan semakin banyak. Seperti diketahui bahwa untuk menyisihkan 1 mg/l  $\text{NH}_4^+$  dan merubahnya menjadi bentuk nitrit dan nitrat dibutuhkan sekitar 4.33 mg/l  $\text{O}_2$ , sehingga secara otomatis jumlah udara yang dibutuhkan semakin besar.

#### 4.3.2. PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA TERHADAP EFFISIENSI PENYISIHAN AMMONIUM, $\text{NH}_4^+$

Telah diteliti oleh para ahli bahwa ammonia akan berbahaya apabila ada dalam konsentrasi yang tinggi. Jika air limbah dengan kandungan ammonia yang masih tinggi langsung dibuang ke sungai / badan air, akan menyebabkan kematian pada aquatic life seperti ikan dan makhluk lainnya.

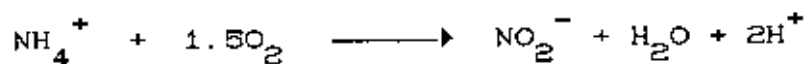
Pada pengolahan secara biologis, penyisihan ammonia baru akan berlangsung jika faktor-faktor pendukung seperti kadar DO, nilai pH, suhu dan keberadaan substrat memenuhi.

Dari data hasil penelitian yang ditampilkan pada tabel 4.4, 4.5 dan 4.6 memperlihatkan bahwa efisiensi penurunan nilai  $\text{NH}_4^+$  pada berbagai perbandingan BOD:N:P semakin baik apabila laju aliran udara meningkat. Hal ini dikarenakan semakin besarnya laju aliran udara yang diberikan maka konsentrasi DO di dalam reaktor semakin meningkat. Hal ini juga dinyatakan oleh Nagel dan Haworth (1969) pada penelitiannya bahwa peningkatan konsentrasi DO di atas 1 mg/l akan meningkatkan pula laju oksidasi ammonia.

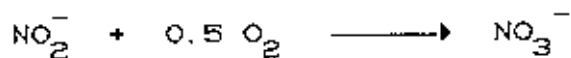
Pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 efisiensi removal  $\text{NH}_4^+$  sekitar 71 % , pada perbandingan BOD:N:P =

*Analisa Data*

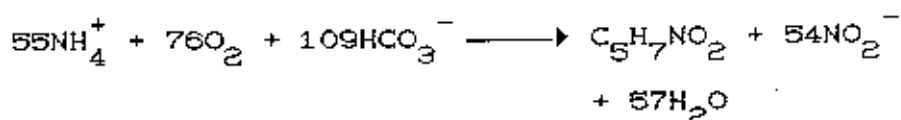
100:10:1 efisiensi penyisihan  $\text{NH}_4^+$  sekitar 67% dan pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 removal  $\text{NH}_4^+$  sekitar 76%. Dengan kadar DO sekitar 3.9 mg/l - 4.8 mg/l. Secara teoritis ini dapat dibenarkan karena proses removal ammonia membutuhkan DO sekitar 3.22 mg/l untuk setiap mg/l ammonia yang dihilangkan sesuai dengan reaksi :



dan 1.11 mg/l untuk mengubah nitrit menjadi nitrat sesuai dengan reaksi :



Dari grafik 4.3 dapat dilihat bahwa secara umum semakin besar kadar ammonium yang akan dihilangkan maka semakin besar pula supply udara yang harus diberikan untuk mempertahankan DO di reaktor minimum  $\geq 4$  mg/l. Hal ini dikarenakan selain untuk menyisihkan kandungan ammonia dan mengubahnya menjadi bentuk nitrit dan nitrat, kandungan N dari ammonium juga dipergunakan untuk pertumbuhan sel. Seperti diketahui bahwa komponen sel adalah CHON sesuai dengan reaksi :



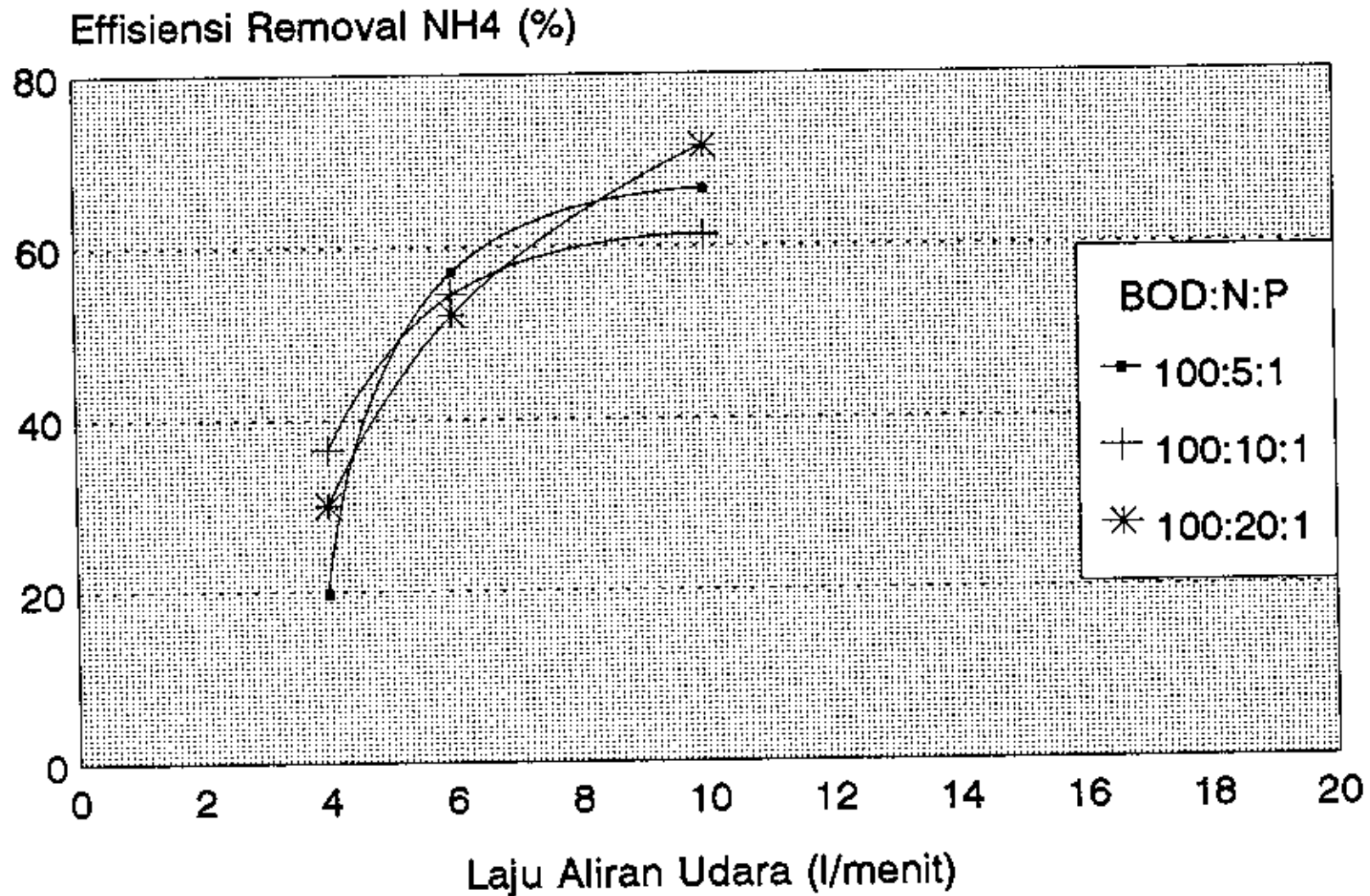
di mana struktur sel mikroba dinyatakan dengan rumus  $\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ . Sehingga dapat disimpulkan bahwa senyawa N yang disisihkan sebagian dipergunakan untuk membentuk sel

baru dan sisanya dirubah menjadi bentuk lain seperti nitrit dan nitrat. Akan tetapi karena proses 'pemakanan' senyawa N oleh mikroba dan pembentukan nitrit serta nitrat berjalan secara simultan maka seolah-olah semua senyawa ammonium dirubah menjadi bentuk nitrit dan nitrat.

Pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 dan BOD:N:P = 100:10:1 terlihat bahwa pada laju aliran udara 8 l/menit efisiensi penyisihan ammonium sudah baik (grafik 4.3) akan tetapi efisiensi masih meningkat pada laju aliran udara 10 l/menit walaupun kemungkinan kenaikan efisiensi hanya kecil saja. Hal ini bisa saja disebabkan karena pada nilai perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 dan 100:10:1 oksigen yang diberikan sudah mulai mencukupi. Tetapi pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 terlihat bahwa pada laju aliran udara 10 l/menit masih terjadi penyisihan senyawa ammonium, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar senyawa N yang akan dihilangkan maka udara yang dibutuhkan semakin besar.

Jadi dapat dikatakan bahwa untuk menyisihkan 10 mg/l senyawa N-Ammonium dibutuhkan sekitar 8 l/menit udara. Dan untuk menyisihkan 20 mg/l senyawa N-Ammonium pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 sebanyak 10 l/menit udara atau lebih masih dibutuhkan.

Grafik 4.3. Hub. Laju Aliran Udara Thd Removal  $\text{NH}_4$



Selain itu faktor-faktor lain yang mendukung berjalannya proses penghilangan ammonia sudah cukup baik seperti suhu berkisar antara  $27^{\circ}\text{C}$  sampai  $31^{\circ}\text{C}$ , kemudian pH reaktor berkisar antara nilai 6.9 - 7.3. Pengaturan umur lumpur dan rasio resirkulasi memudahkan pengontrolan terhadap massa biologis pada reaktor, sehingga proses berjalan efisien.

#### 4.3.3. PENGARUH LAJU ALIRAN UDARA TERHADAP EFFISIENSI NITRIFIKASI

Proses nitrifikasi adalah suatu proses pembentukan nitrit dari senyawa ammonium dengan keberadaan oksigen oleh aktivitas bakteri *Nitrosomonas* dan kemudian dibentuk nitrat oleh aktivitas bakteri *Nitrobacter*.

Bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* adalah termasuk golongan bakteri *Autotroph*, di mana jenis bakteri ini lebih lambat pertumbuhannya dari bakteri golongan *Heterotroph*. Bakteri *Autotroph* ini lebih peka terhadap perubahan lingkungan di sekitarnya. Oleh karena kondisi lingkungan pada pertumbuhan bakteri ini harus dijaga.

Pada penelitian ini, faktor lingkungan seperti pH dari reaktor dijaga dengan cara mengontrol alkalinitas influent. Di mana menurut D.J De Renzo (1978) mengatakan bahwa sekitar 7.14 mg alkainitas sebagai  $\text{CaCO}_3$  dibutuhkan untuk mengoksidasi 1 mg nitrogen ammonia.

Dari hasil penelitian yang disajikan dalam tabel 4.5 dan 4.6 terlihat bahwa efisiensi nitrifikasi semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya laju aliran udara yang diberikan. Karena semakin besar laju aliran udara yang diberikan maka semakin tinggi kadar DO di reaktor. Dan menurut Larry D. Benefield

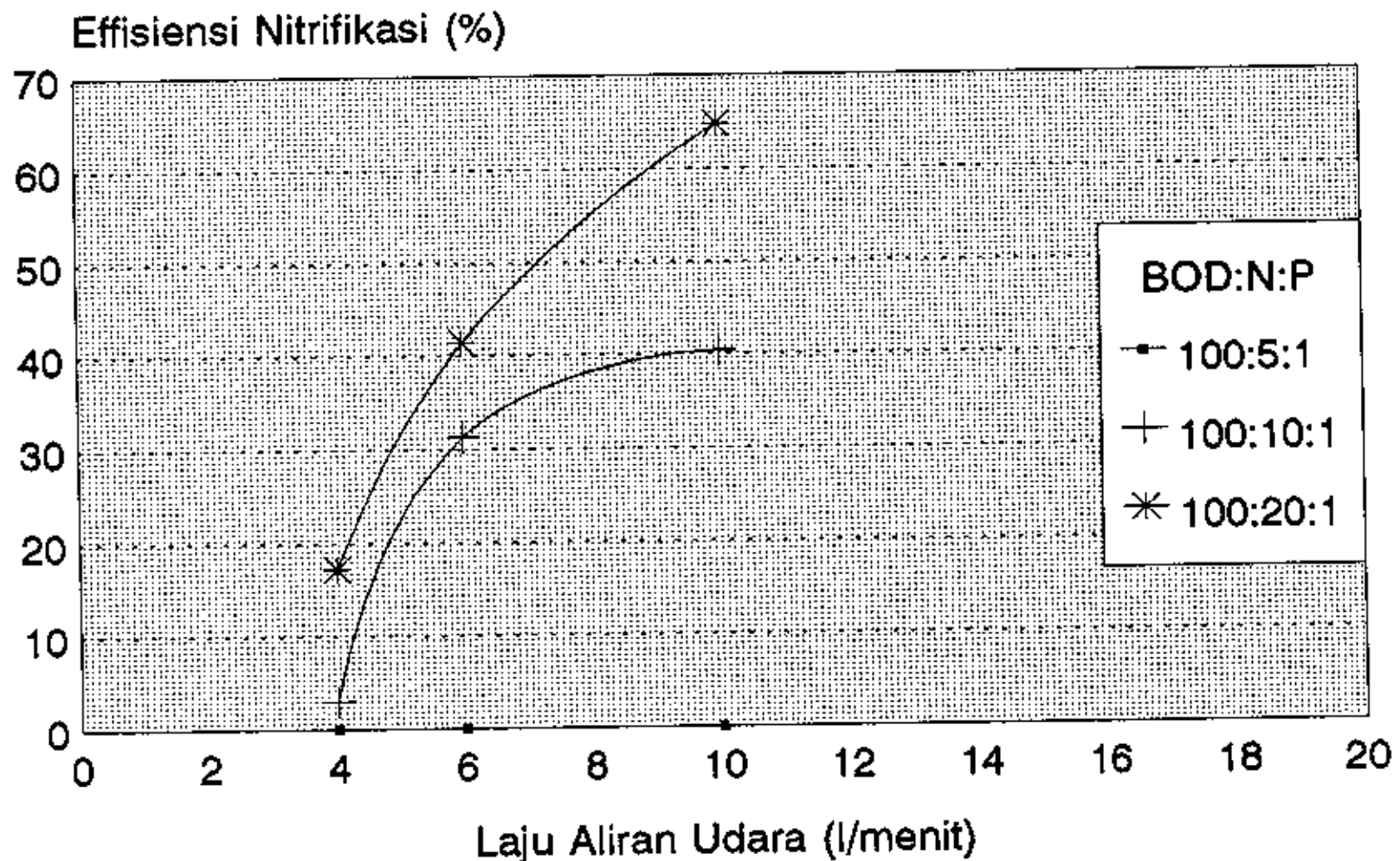
(1980) semakin besar konsentrasi DO di reaktor maka rate nitrifikasi akan semakin besar.

Pada tabel 4.5 dan 4.6 dengan perbandingan BOD:N:P = 100:10:1 dan 100:20:1 terlihat bahwa pada laju aliran udara 4 l/menit efisiensi nitrifikasi hanya berlangsung sekitar 4 % dan 19%. Kemudian pada laju aliran udara 6 l/menit efisiensi menjadi 36% dan 43 %. Pada laju aliran udara 10 l/menit efisiensi menjadi sekitar 40 % untuk BOD:N:P = 100:10:1 dan menjadi 65 % untuk BOD:N:P = 100:20:1. Hasil penelitian ini bisa dikorelasikan dengan beberapa penelitian / observasi yang telah dilakukan oleh para ahli yaitu menurut Monod proses nitrifikasi bisa berjalan pada DO 2 mg/l. Kemudian D J De Renzo (1978) dalam bukunya yang berjudul "Nitrogen Control and Phosphorus Removal" menyatakan bahwa para ahli telah meneliti pada suatu reaktor yang dioperasikan secara kontinyu, konsentrasi DO mendekati 1 mg/l laju nitrifikasinya lebih rendah dari pada reaktor yang dioperasikan pada konsentrasi DO 4 - 7 mg/l. Selain itu British Investigator menemukan bahwa rate nitrifikasi pada DO 2 mg/l kira-kira 10 % lebih rendah dari pada nilai DO yang lebih besar, walaupun pada konsentrasi tersebut nitrifikasi sudah berjalan. Pada observasi ini mereka membandingkan rate nitrifikasi pada

*Analisa Data*



Grafik 4.4. Hub. Laju Aliran Udara Thd Efisiensi Nitrifikasi



konsentrasi DO 1, 2, 4 dan 8 mg/l. Para ahli lain seperti yang tergabung dalam *Pilot Investigation* pada *Metro Sewer District of Cincinnati, Ohio, USA*, telah meneliti bahwa pada saat DO 2 mg/l proses nitrifikasi hanya berjalan kira-kira 40 % , akan tetapi ketika konsentrasi DO dinaikkan menjadi 4 mg/l, proses nitrifikasi berjalan sekitar 80%. Sedangkan Murphy yang dikutip dari D. J. De Renzo (1978) menyatakan bahwa proses nitrifikasi berlangsung baik pada suatu activated sludge yang paralel yang mengandung konsentrasi DO 8 mg/l, sedangkan pada activated sludge lainnya dengan DO 1 mg/l proses tidak begitu sempurna.

DO terukur pada laju aliran udara 6 l/menit berkisar antara 2.4 - 3.0 mg/l dan pada laju aliran udara 10 l/menit DO terukur adalah sekitar 4.2 - 4.8 mg/l. Dan memang terlihat bahwa proses nitrifikasi memang terjadi.

Untuk perbandingan BOD:N:P = 100:10:1 pada laju aliran udara 8 l/menit efisiensi nitrifikasi sangat baik walaupun kadar DO sekitar 2.4 - 3.0 mg/l. Sehingga dapat dikatakan pada konsentrasi DO sekitar 2 mg/l proses nitrifikasi sudah terjadi. Pada laju aliran udara 10 l/menit proses nitrifikasi masih terjadi tetapi agak lambat , dikarenakan pada perbandingan tersebut di atas

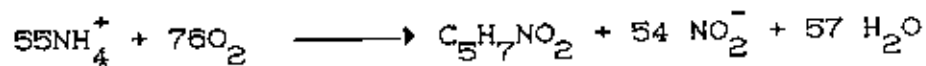
*Analisa Data*

jumlah udara yang diberikan sudah cukup untuk mengoksidasi dengan konsentrasi N sebesar 10 ppm. Jadi bisa dikatakan bahwa untuk mengoksidasi N sebesar 10 mg/l pada BOD:N:P = 100:10:1 maka dibutuhkan sekitar 8 l/menit udara.

Pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 terlihat bahwa pada laju aliran udara 10 l/menit efisiensi nitrifikasi masih terus meningkat. Hal ini disebabkan karena konsentrasi N semakin meningkat pula sehingga dibutuhkan udara yang lebih besar.

Tetapi coba kita tinjau pada tabel 4.4 di mana efisiensi nitrifikasi bernilai 0% . Untuk itu mari kita bahas satu persatu mengapa hal tersebut sampai terjadi. Apabila kita tinjau dari laju aliran udara 4 l/menit bisa dikatakan nitrifikasi belum terjadi karena DO hanya ada dengan konsentrasi 0.9 - 1.4 mg /l. Tetapi pada laju aliran udara 6 l/menit dan 10 l/menit mengapa efisiensi nitrifikasi masih tetap 0% ?? Ada beberapa pendapat untuk menjelaskan permasalahan ini. Pertama, kemungkinan besar nitrifikasi memang tidak terjadi (walaupun faktor lainnya seperti pH dan suhu memenuhi), dan nitrogen yang diberikan hanya cukup untuk metabolisme sel bakteri saja. Seperti kita ketahui bahwa sel bakteri mempunyai rumus  $C_5H_7NO_2$  sesuai dengan reaksi

*Analisa Data*



Kemungkinan kelebihan N sangat kecil sehingga tidak cukup untuk dioksidasi menjadi bentuk nitrit dan nitrat. Pada pertumbuhan sel, menurut Larry D. Benefield (1980), sekitar 12.2 % dari unsur N dipergunakan untuk pertumbuhan sel bakteri *heterotroph* berdasarkan atas jumlah biomass yang diproduksi perhari. Sehingga apabila produksi biomass cukup besar maka unsur N yang dibutuhkan untuk pertumbuhan sel semakin besar. Di samping itu bakteri *autotroph* sendiri selain dapat mengkonversi bentuk ammonium menjadi nitrit dan nitrat, juga membutuhkan senyawa N untuk pertumbuhan selnya. Jika konsentrasi N adalah sebesar 5 mg/l maka sekitar 0.61 mg/l dipergunakan untuk pertumbuhan sel mikroba *heterotroph*.

Selain itu perlu diingat bahwa spesifik growth rate dan maksimum growth rate dari *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* pada activated sludge adalah lebih kecil dari pada di *Pure Nitrifikasi*, seperti yang dikutip dari D.J De Renzo (1978) sehingga dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* sangat lambat. Oleh karena itu pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 dengan kadar N sebesar 5 mg/l walaupun bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter* tumbuh tetapi karena

Analisa Data

sedikitnya kadar N , maka unsur N tersebut hanya cukup untuk perkembangan sel seperti yang telah diuraikan di atas. Pendapat yang lain adalah karena pada konsentrasi BOD:N:P = 100:5:1 dengan konsentrasi N sebesar 5 mg/l tentu saja substrat (BOD) jauh lebih besar sehingga bakteri yang dominan adalah bakteri *heterotroph* sehingga unsur N tersebut digunakan untuk membangun struktur selnya. Ini bisa diperkuat oleh penelitian dari Keisuke dan S.Ogahki serta C.Wantawin (1989) yang dikutip dari "Journal of Environmental Engineering Division" pada Asian Institut of Technology Bangkok , yang menemukan bahwa selain dari level DO yang rendah dapat menghambat pertumbuhan bakteri *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*, faktor lain adalah apabila konsentrasi substrat jauh melebihi konsentrasi N sehingga proses nitrifikasi tidak terjadi. Jika dihubungkan dengan penyisihan ammonium pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 (hasil analisa pada sub bab 4.2) maka bisa diambil kesimpulan bahwa pengurangan senyawa N pada perbandingan tersebut bisa saja hanya untuk pembentukan dan pertumbuhan sel bakteri *heterotroph* saja dan sebagian kecil untuk pertumbuhan bakteri *autotroph*.

Pendapat / argumentasi yang lain juga perlu dipertimbangkan bahwa sebenarnya proses nitrifikasi sudah terjadi tetapi sangat kecil sehingga mendekati 0%, hal ini bisa dilihat dari hasil penelitian pada tabel 4.4 yaitu dengan terbentuknya senyawa  $\text{NO}_x$ . Akan tetapi karena efisiensi nitrifikasi berdasarkan dari konsentrasi ammonium influent dan effluent maka hasil  $\text{NO}_x$  sepertinya tidak berpengaruh. Perhitungan efisiensi nitrifikasi dapat dilihat pada lampiran 6-5 yang didasarkan pada buku "*Biological Process Design for Wastewater Treatment*" oleh Larry D Benefield dan Clifford W. Randal (1980).

Tetapi secara garis besarnya dari ulasan-ulasan di atas dapat diketahui bahwa sebenarnya semakin tinggi konsentrasi DO maka semakin baik dan efektif proses nitrifikasi yang terjadi. Apalagi jika dari data hasil penelitian dapat dilihat bahwa kondisi lingkungan yang mendukung pertumbuhan bakteri sudah cukup baik di mana temperatur reaktor berkisar antara  $28 - 30^{\circ}\text{C}$  dan pH reaktor berkisar sekitar 7 (netral) yang menandakan bahwa alkalinitas influent cukup memenuhi untuk terjadinya reaksi. Selain itu umur lumpur yang dipergunakan pada penelitian ini cukup panjang yaitu sekitar 12 hari.

Analisa Data

#### 4.3.4. PENGARUH LAMANYA WAKTU AERASI TERHADAP EFFISIENSI PENYISIHAN $\text{NH}_4^+$ DAN EFFISIENSI NITRIFIKASI

Aerasi pada activated sludge adalah suatu pemberian udara ke dalam sistem dengan tujuan mengurangi kadar organik air limbah (substrat) dan untuk pengadukan / mixing.

Suatu proses secara biologis akan dapat berjalan baik apabila karakteristik dari sumber udara (dalam hal ini aerator) dapat menjamin transfer udara berjalan baik sehingga kadar oksigen terlarut di dalam sistem tidak kurang.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi apakah aerasi sudah berjalan dengan baik atau tidak, sehingga transfer oksigen berjalan efektif yaitu temperatur, karakteristik air limbah dan tingkat turbulensi untuk menjamin agar tidak terjadi pengendapan bio solid pada reaktor.

Dari data hasil penelitian yang ditampilkan dalam grafik 4.5, 4.6 dan 4.7 untuk removal  $\text{NH}_4^+$  pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1, 100:10:1 dan 100:20:1 terlihat bahwa secara umum removal  $\text{NH}_4^+$  bertambah seiring dengan bertambahnya waktu aerasi. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu aerasi maka memungkinkan konsentrasi DO di reaktor bertambah besar. Sehingga apabila

*Analisa Data*

konsentrasi DO bertambah maka efisiensi penghilangan ammonium menjadi semakin tinggi. Demikian juga halnya dengan efisiensi nitrifikasi seperti yang ditunjukkan pada grafik 4.8 dan grafik 4.9.

Dari ke lima grafik dapat dilihat bahwa secara umum waktu aerasi optimum yang dibutuhkan menyisihkan  $\text{NH}_4^+$  dan efisiensi nitrifikasi adalah sekitar 12 jam. Hal ini sesuai dengan pertumbuhan mikroorganisme bisa berlangsung sekitar 12 jam.

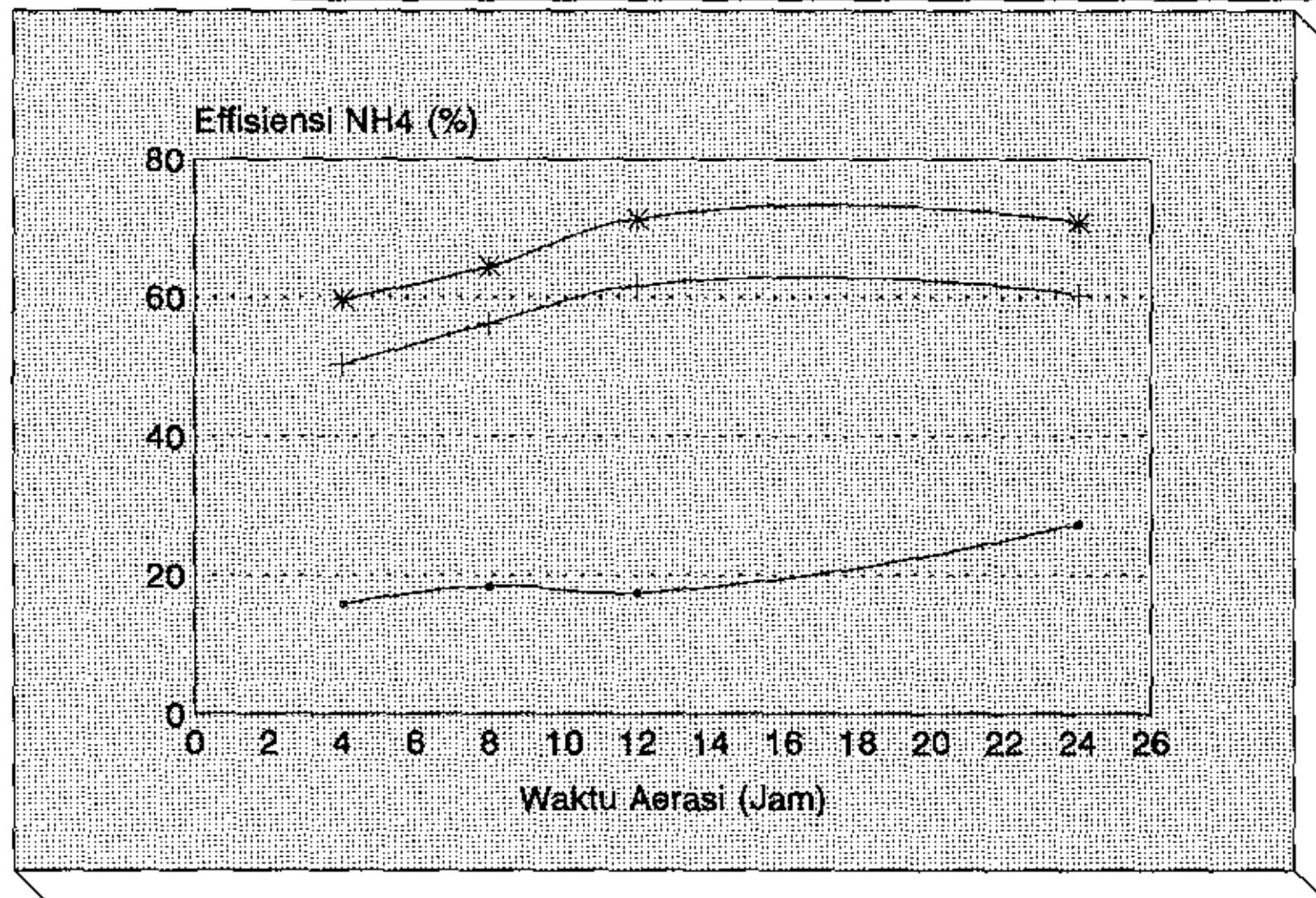
Renanto Handogo , Aly Altway, Pancawarni (1992), mengatakan pada penelitiannya yang berjudul "Penurunan Kadar  $\text{NH}_3$  Dalam Air Limbah Industri Dengan Cara Aerasi" bahwa waktu aerasi semakin lama efisiensi pengurangan  $\text{NH}_3$  semakin tinggi. Di mana mereka menemukan bahwa dengan konsentrasi  $\text{NH}_3$  sebanyak 150 ppm, pada waktu aerasi 30 menit efisiensi hanya terjadi 10 %, tetapi begitu waktu aerasi dinaikkan menjadi 4 jam (240 menit) efisiensi meningkat menjadi kira-kira 70 %.

Dari data hasil penelitian dapat dilihat bahwa efisiensi penghilangan  $\text{NH}_4^+$  pada waktu aerasi 12 jam adalah sekitar 60 - 70% untuk Q-udara 10 l/menit pada berbagai perbandingan BOD. Sedangkan untuk Q-udara sebesar 6 l/menit efisiensi berkisar antara 50 - 63 % dan pada laju aliran udara 4 l/menit efisiensi antara



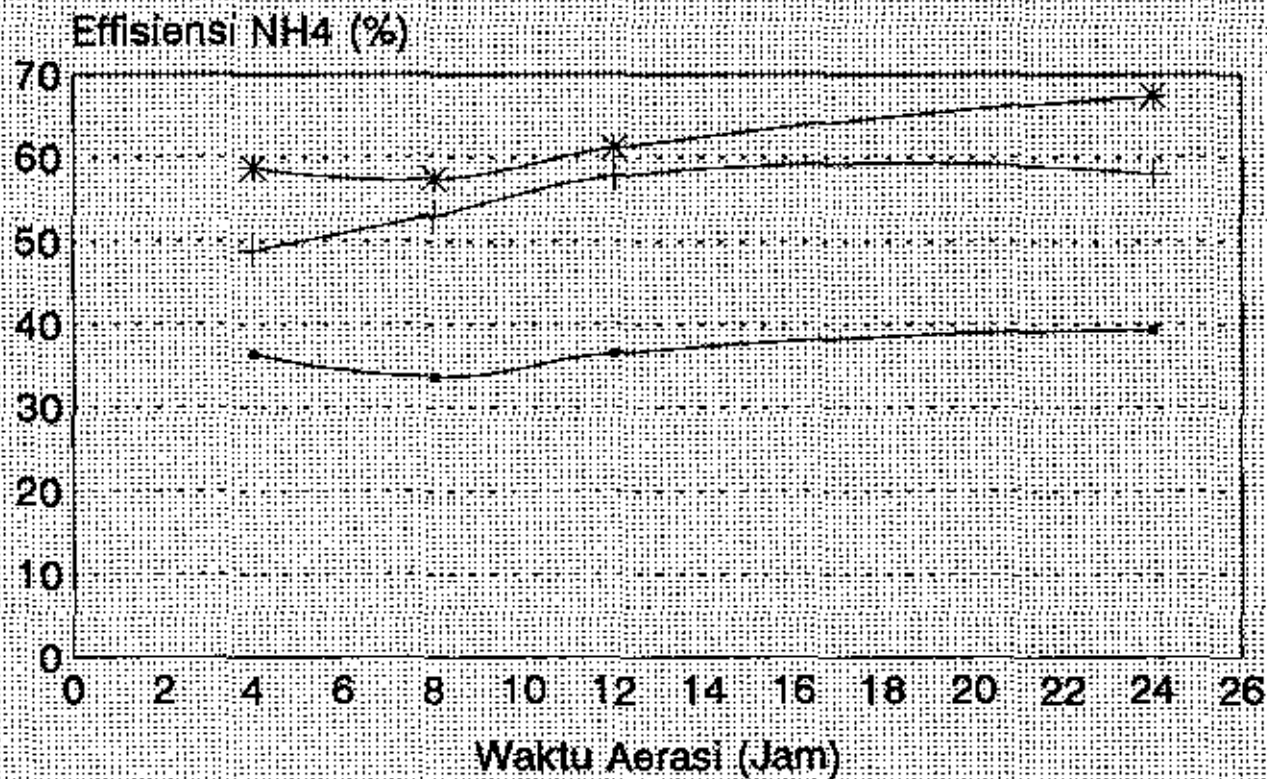
18 - 30 %. Untuk efisiensi nitrifikasi pada laju aliran udara 10 l/menit adalah sekitar 42 - 65 % dan untuk Q-udara sebesar 6 l/menit efisiensi nitrifikasi adalah sekitar 30 - 45 %. Pada laju aliran udara 4 l/menit efisiensi nitrifikasi sekitar 5 - 18 %.

Grafik 4.5. Hub. Waktu Aerasi Thd Efisiensi NH<sub>4</sub>



BOD:N:P = 100:5:1

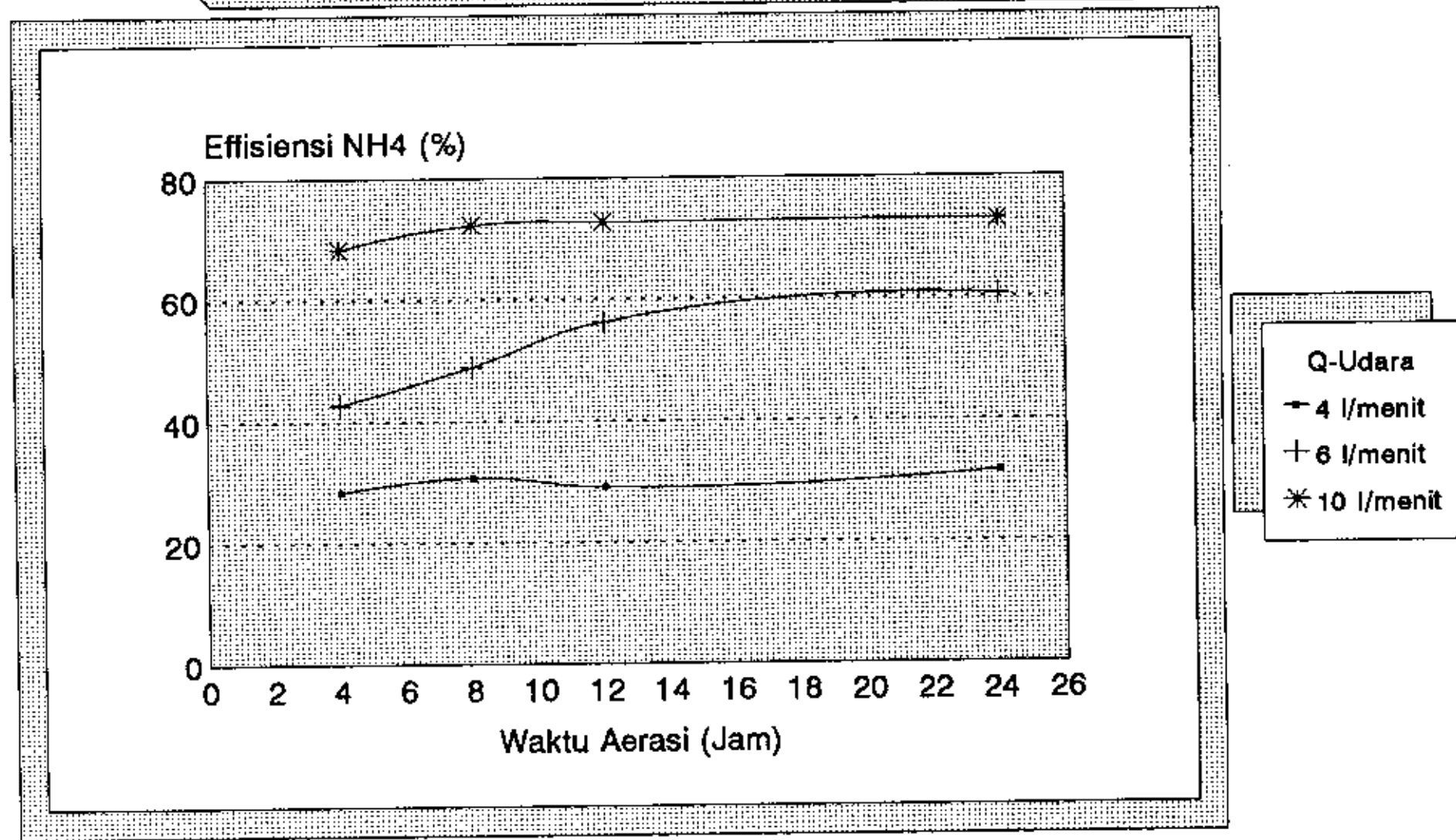
Grafik 4.6. Pengaruh Waktu Aerasi Thd Effisiensi NH4



Q-Udara  
• 4 l/menit  
+ 6 l/menit  
\* 10 l/menit

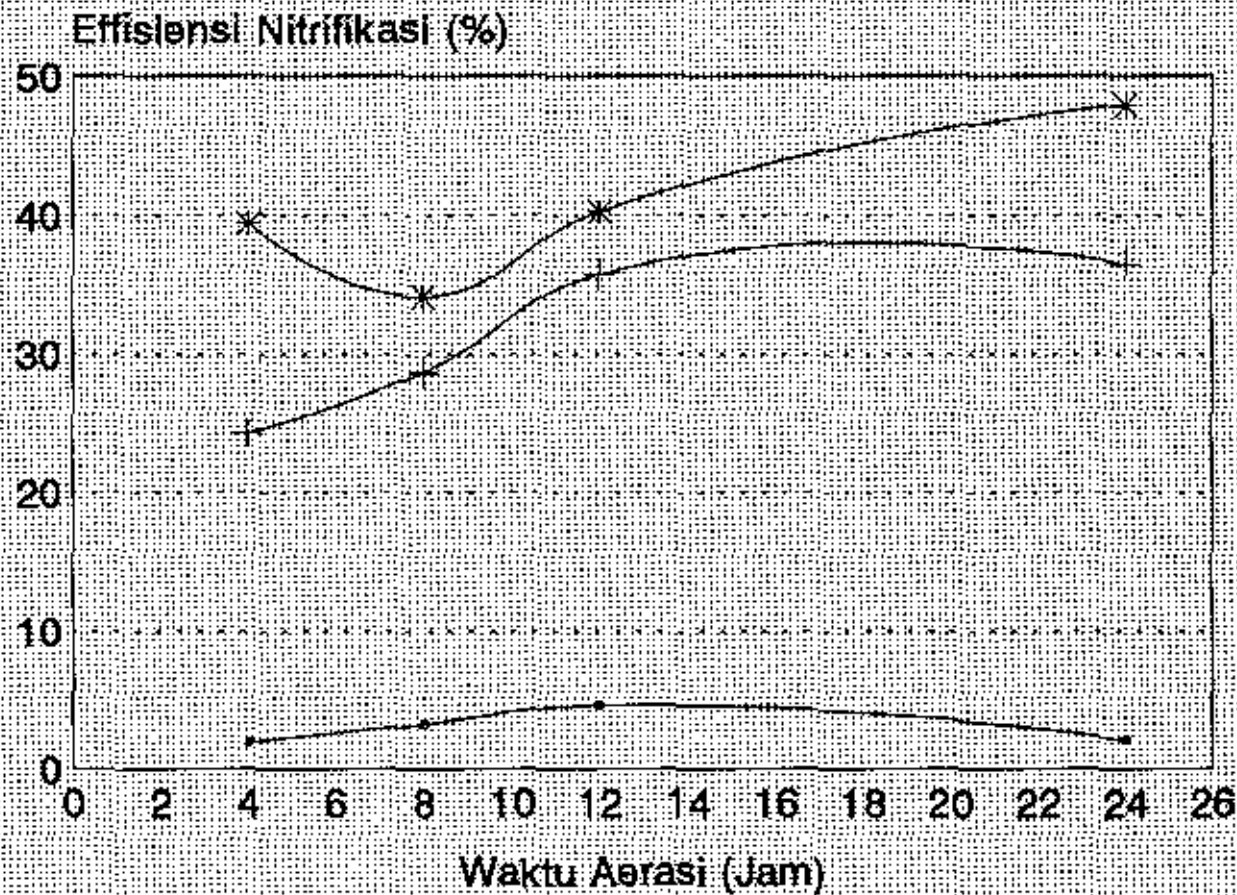
BOD:N:P = 100:10:1

Grafik 4.7. Pengaruh Waktu Aerasi Thd Efisiensi NH<sub>4</sub>



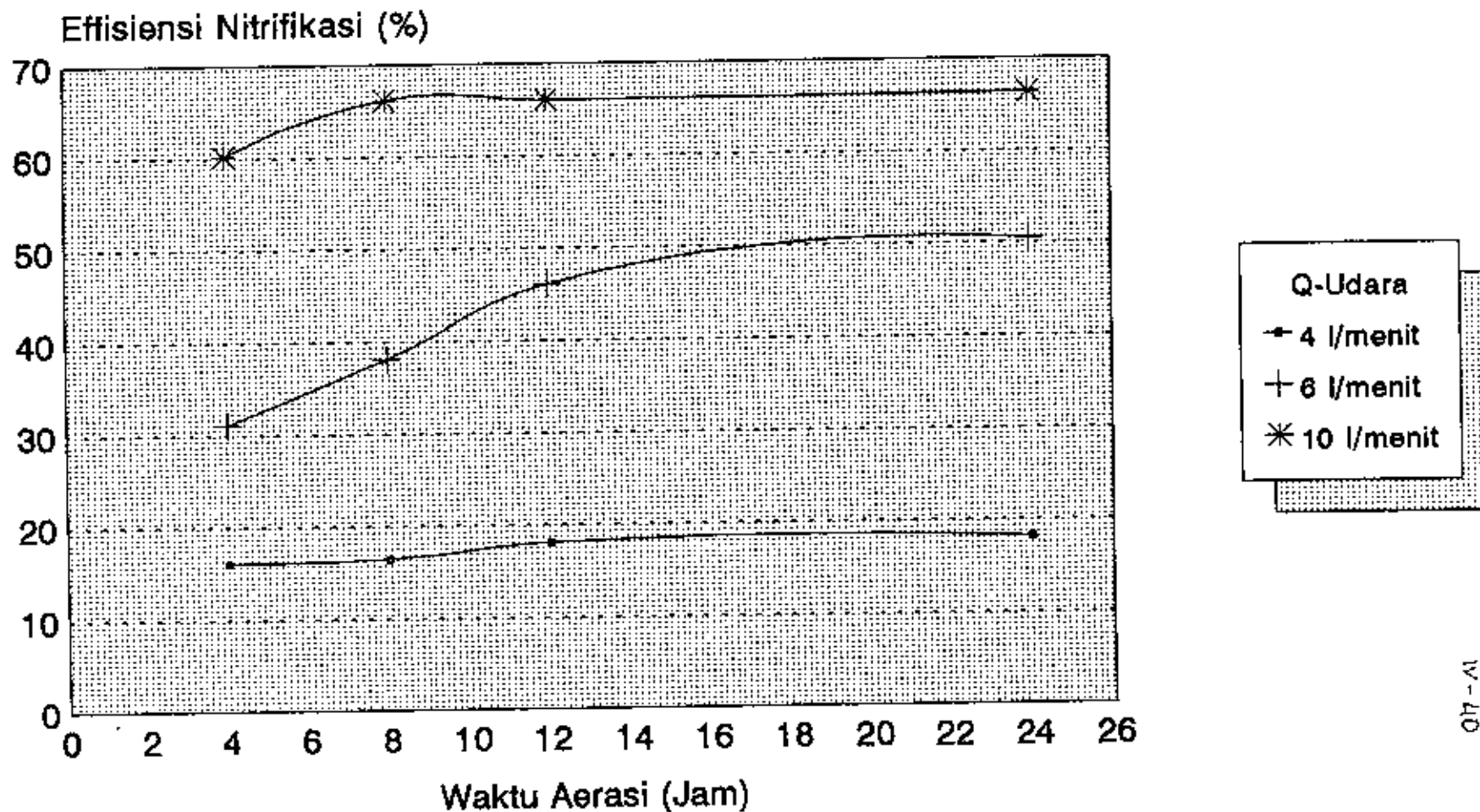
BOD:N:P = 100:20:1

Grafik 4.8. Hub. Waktu Aerasi Thd Effisiensi Nitrifikasi



Q-Udara  
→ 4 l/menit  
+ 6 l/menit  
\* 10 l/menit

Grafik 4.9. Pengaruh Waktu Aerasi Thd Efisiensi Nitrifikasi



BOD:N:P = 100:20:1



#### 4.3.5. PEMAKAIAN OKSIGEN OLEH MIKROORGANISME PADA BERBAGAI NILAI PERBANDINGAN BOD:N:P DAN VARIASI LAJU ALIRAN UDARA

Pada reaksi biokimia, bio oksidasi dari substrat membutuhkan sejumlah oksigen untuk respirasi dan sintesa. Selain itu oksigen juga dibutuhkan untuk degradasi endogenous dari massa sel dan untuk nitrifikasi.

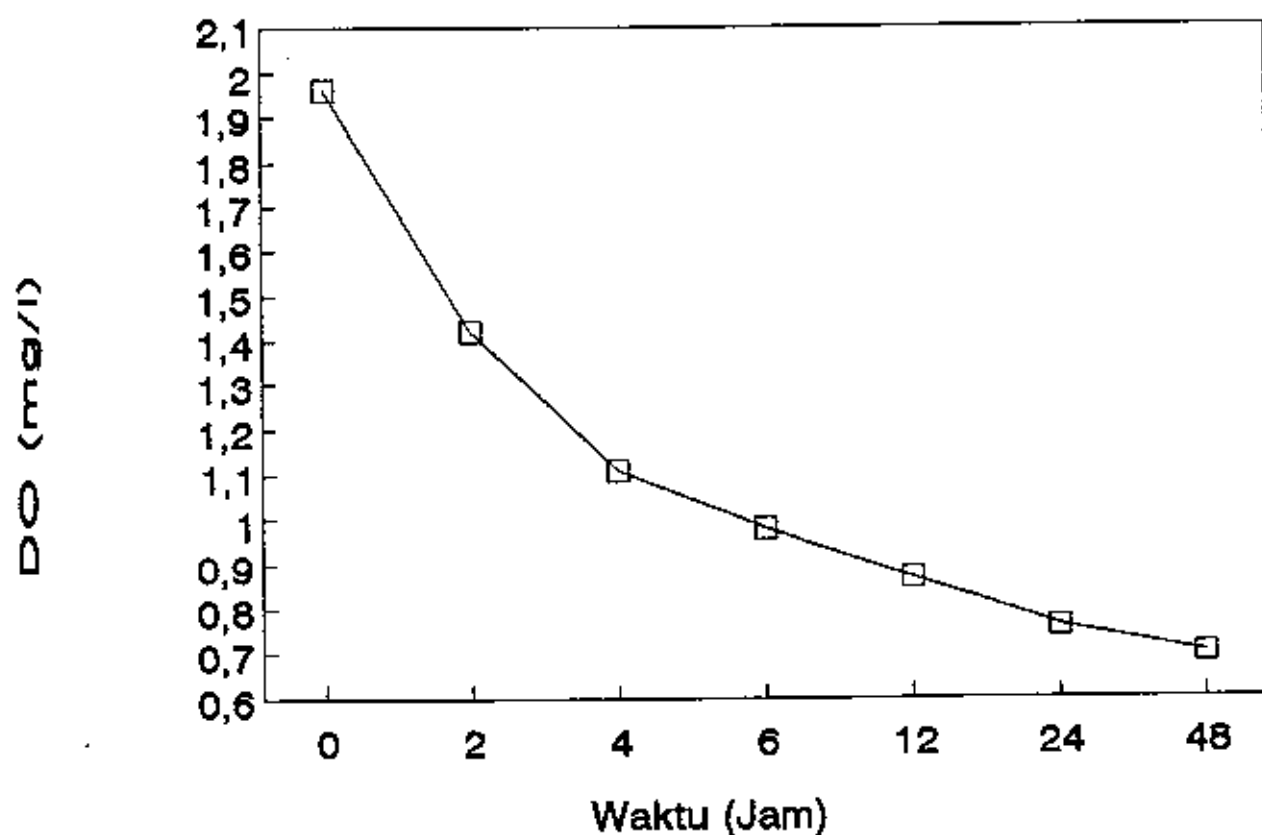
Oksigen dibutuhkan secara aerobik untuk dua kegunaan. Kebutuhan terbesar adalah sebagai terminal elektron akseptor untuk sistem transport yang dibutuhkan guna menghasilkan energi. Sejumlah kecil oksigen dibutuhkan dalam reaksi enzimatis.

Pada penelitian secara batch proses ini bertujuan untuk mengetahui pemakaian oksigen oleh mikroorganisme, dengan cara mengukur nilai DO pada setiap interval waktu tertentu dan dikontrol dengan nilai pertumbuhan mikroorganisme, yang dinyatakan dengan nilai MLVSS pada setiap interval waktu. Sehingga dari data-data tersebut bisa ditentukan waktu aerasi optimum pada proses ini.

Dari hasil penelitian, pada berbagai nilai perbandingan BOD:N:P dan laju aliran udara terlihat bahwa secara umum penurunan nilai DO di reaktor diikuti dengan meningkatnya nilai MLVSS pada setiap waktu, yang

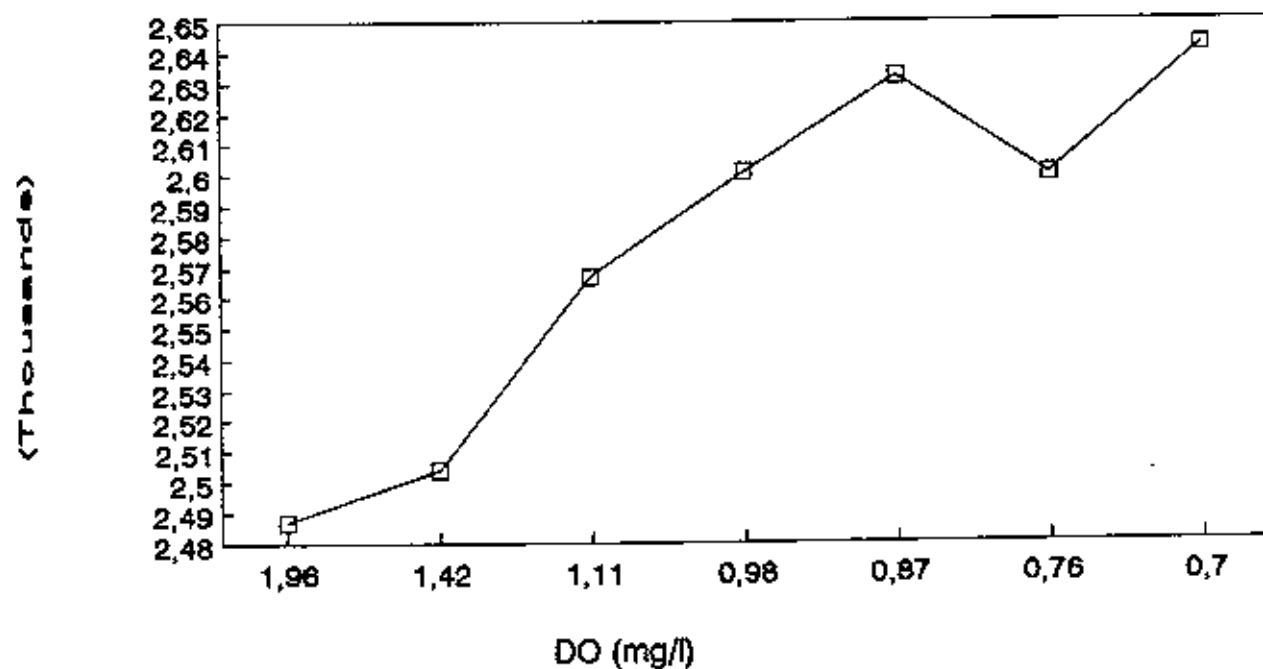
*Analisa Data*

Grafik 4.10a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 4 l/menit



MLVSS (mg/l)

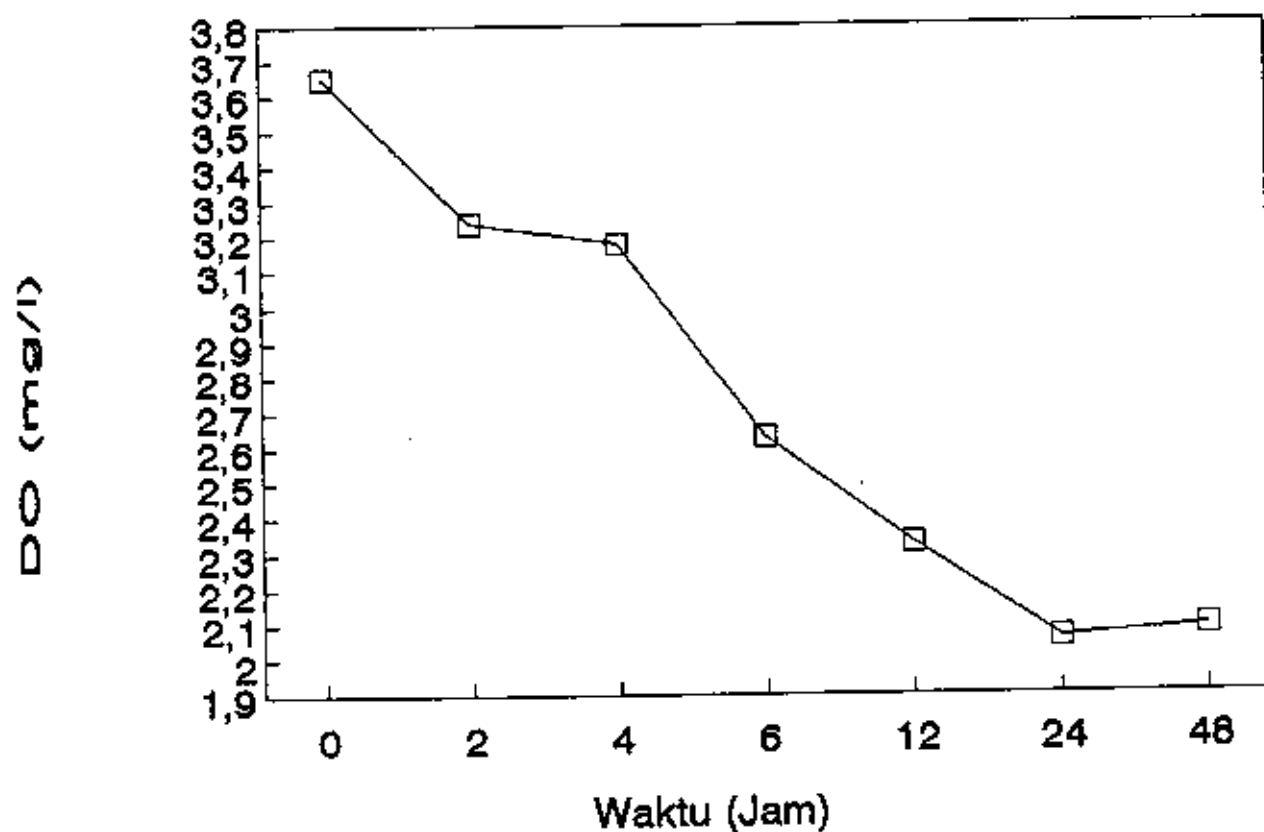
Grafik 4.10b. Pertumbuhan m.o



BOD:N:P = 100:5:1

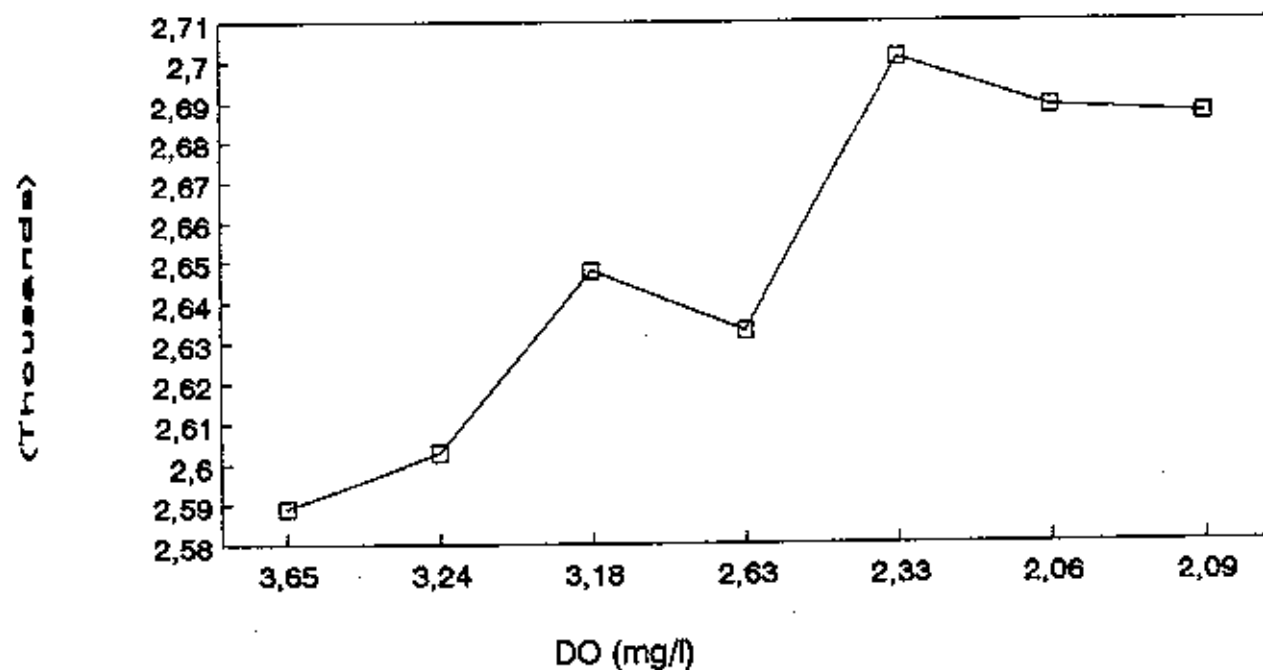


Grafik 4.11a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 6 l/menit



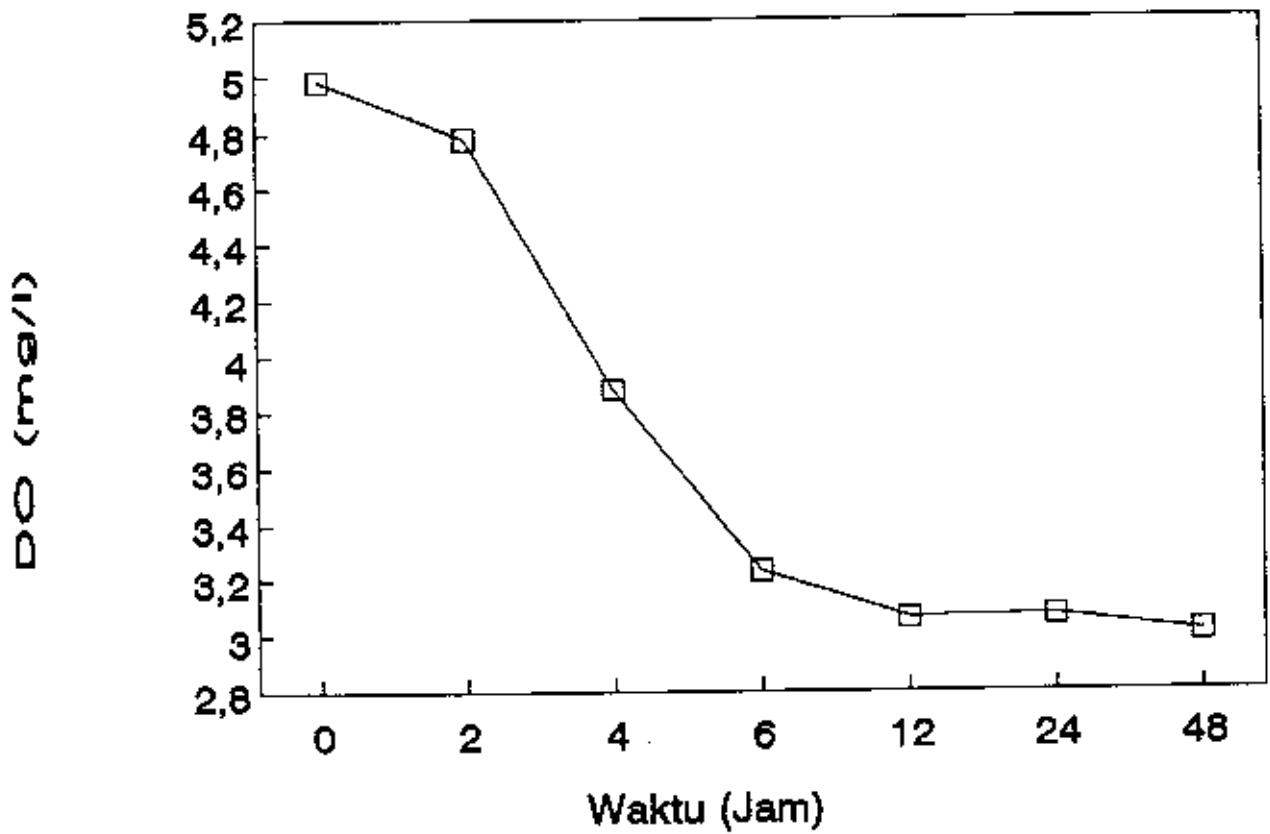
MLVSS (mg/l)

Grafik 4.11b. Pertumbuhan m.o



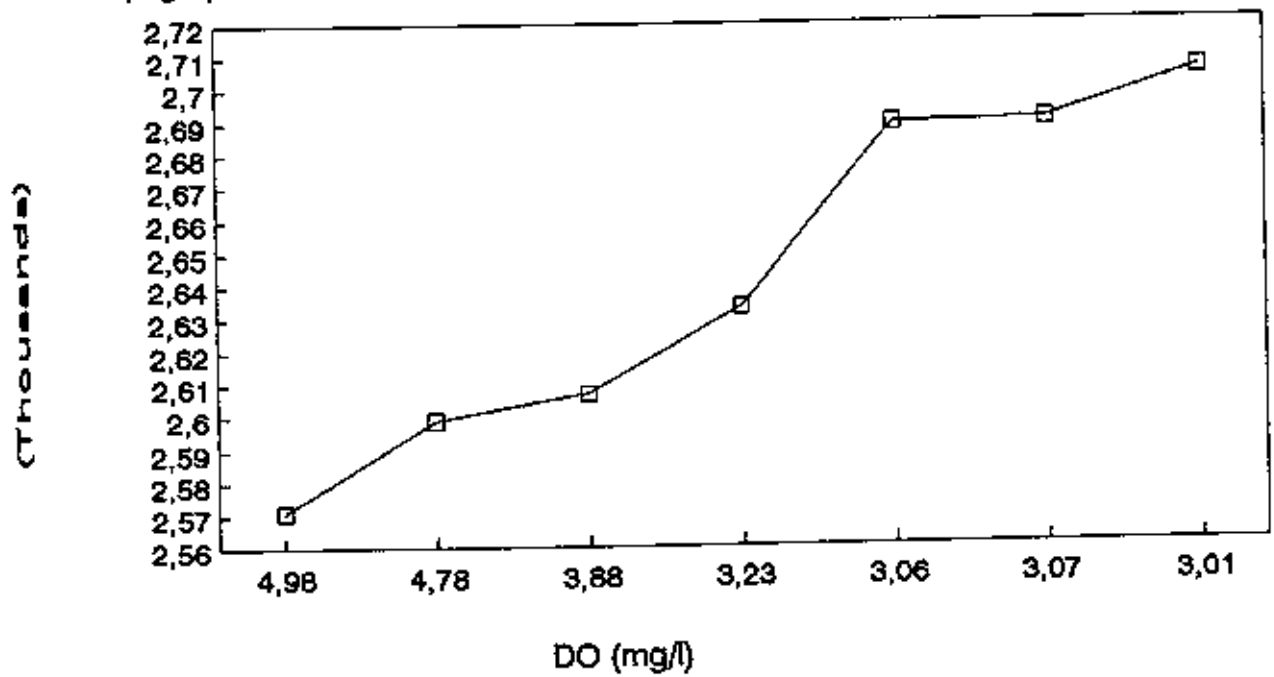
BOD:N:P = 100:5:1

Grafik 4.12a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 10 l/menit



MLVSS (mg/l)

Grafik 4.12b. Pertumbuhan m.o



BOD:N:P = 100:5:1

menandakan bahwa telah terjadi proses pengambilan oksigen oleh mikroorganisme. Pengambilan oksigen ini sebagian dipergunakan untuk membentuk sel baru.

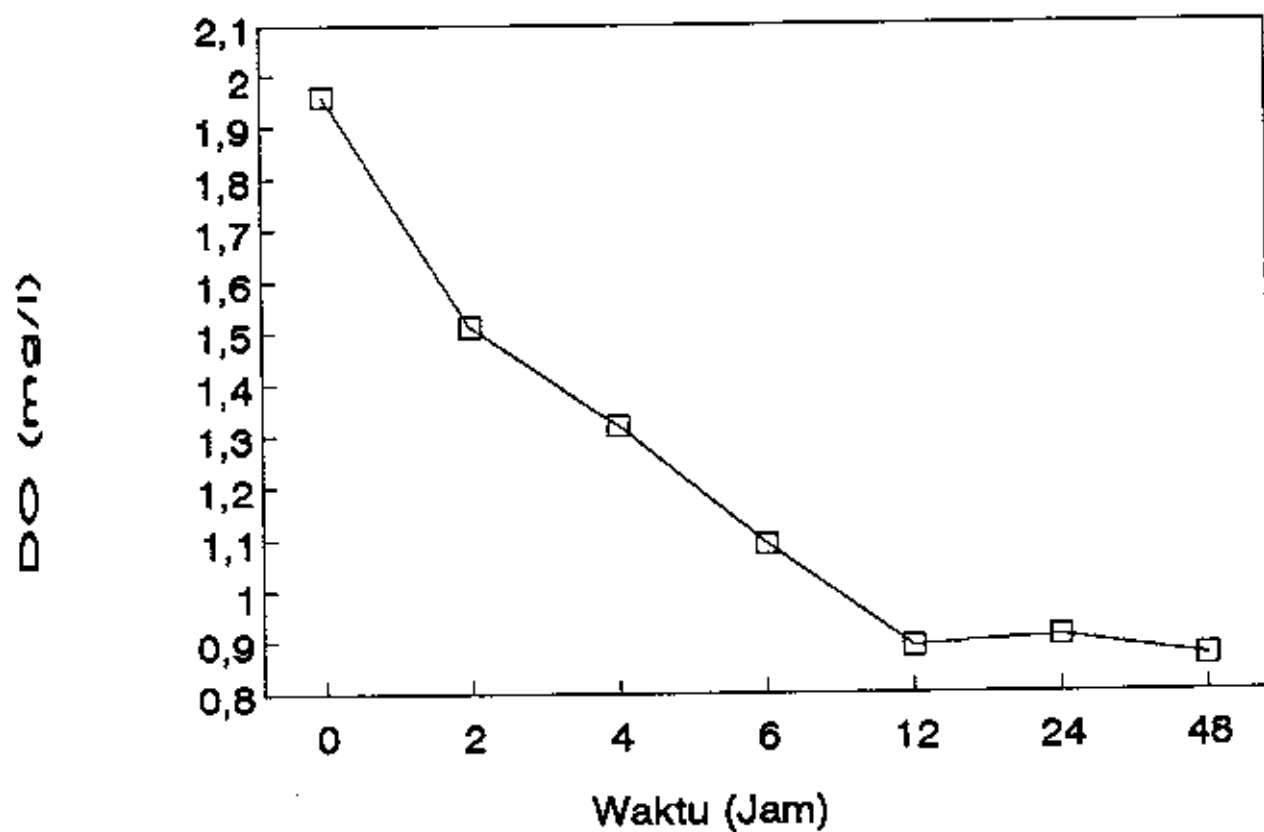
Pada laju aliran udara 4 l/menit dan perbandingan BOD:N:P = 100:5:1, pada grafik 4.10a dan 4.10b terlihat bahwa pengambilan oksigen lebih cepat pada saat awal aerasi diberikan, yang ditandai dengan penurunan konsentrasi DO secara ekstrim pada interval waktu 0 sampai 4 jam. Pada saat aerasi berlangsung kira-kira 6 jam, penurunan konsentrasi DO tidak begitu ekstrim lagi, dan untuk waktu selanjutnya konsentrasi mendekati konstan. Hal ini dikarenakan pada saat awal aerasi, mikroorganisme tersebut berada dalam keadaan "lapar" sehingga begitu diberikan oksigen dan makanan (substrat) langsung terjadi proses. Karena debit udara yang diberikan tidak begitu besar (dilihat dari nilai DO terukur) dan konsentrasi substrat yang diberikan cukup tinggi, maka penggunaan oksigen menjadi sangat cepat. Dari grafik 4.10a terlihat bahwa kemungkinan masih terjadi penurunan nilai DO pada interval waktu > 48 jam, dan kenaikan konsentrasi biomassa pun masih mungkin terjadi. Fenomena ini bisa saja terjadi karena oksigen yang diberikan belum mencukupi sehingga mikroba belum bisa tumbuh secara optimal.

*Analisa Data*

Pada laju aliran udara 8 l/menit dan 10 l/menit terlihat adanya kecenderungan yang sama bahwa penggunaan oksigen juga sangat cepat pada waktu awal aerasi, tetapi mulai konstan pada saat aerasi berlangsung selama 6 jam. Akan tetapi kecepatan pengambilan oksigen pada ke dua kondisi di atas lebih kecil (pelan) dibandingkan dengan saat laju aliran udara 4 l/menit. Dikarenakan supply udara sudah mencukupi untuk pertumbuhan sel-sel mikroorganisme. Selain itu bila dihubungkan dengan teori "Gas Transfer" maka pada saat konsentrasi substrat sama tetapi diberikan laju aliran udara yang berbeda, maka jumlah udara yang terakumulasi di dalam sistem akan lebih besar pada laju aliran udara yang lebih tinggi. Sehingga bisa saja seolah-olah kecepatan pengambilan oksigen pada kondisi ini lebih kecil padahal mungkin saja kecepatan pengambilan oksigen sama. Tetapi perlu diingat bahwa pada pengolahan biologis, penggunaan oksigen (Oxygen Utilization Rate) oleh mikroba adalah sangat sukar diukur, karena semua hal yang berkaitan dengan hal tersebut sangat berhubungan erat dengan Kinetika Aerasi, Spesific Growth Rate mikroorganisme pengurai, seperti yang dikatakan oleh Larry D. Benefield dan Clifford W. Randal (1980) di dalam bukunya "*Biological Process Design for Wastewater Treatment*".

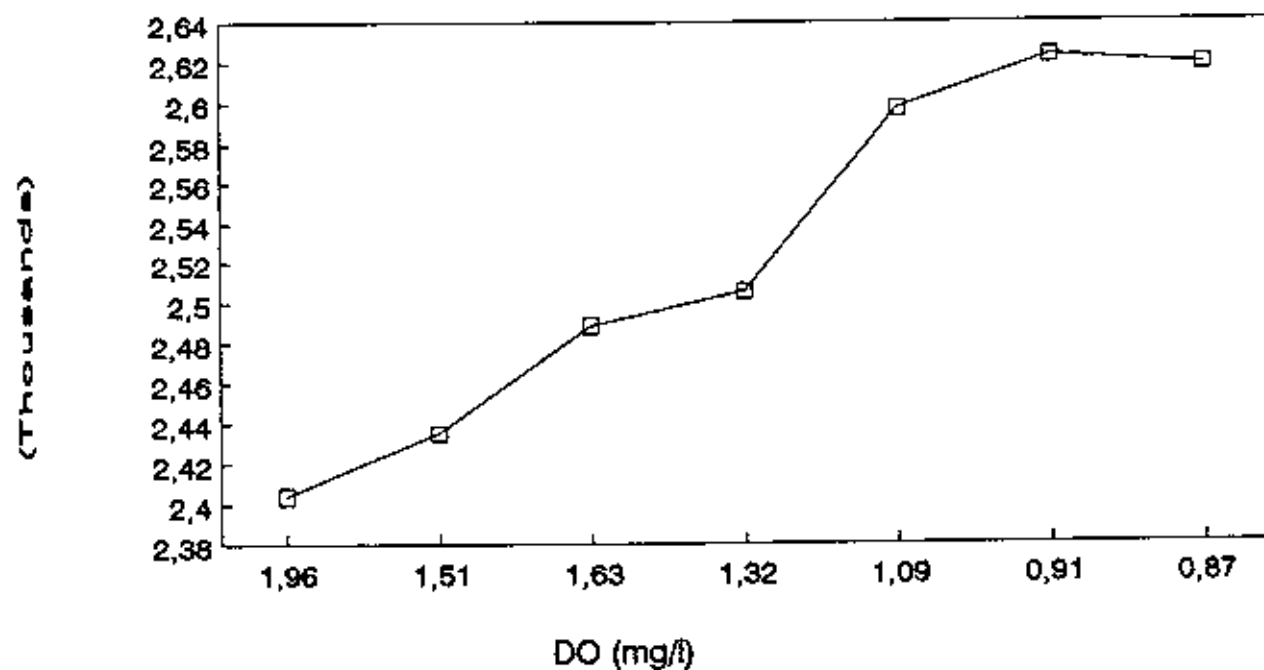
*Analisa Data*

Grafik 4.13a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 1 4 l/menit



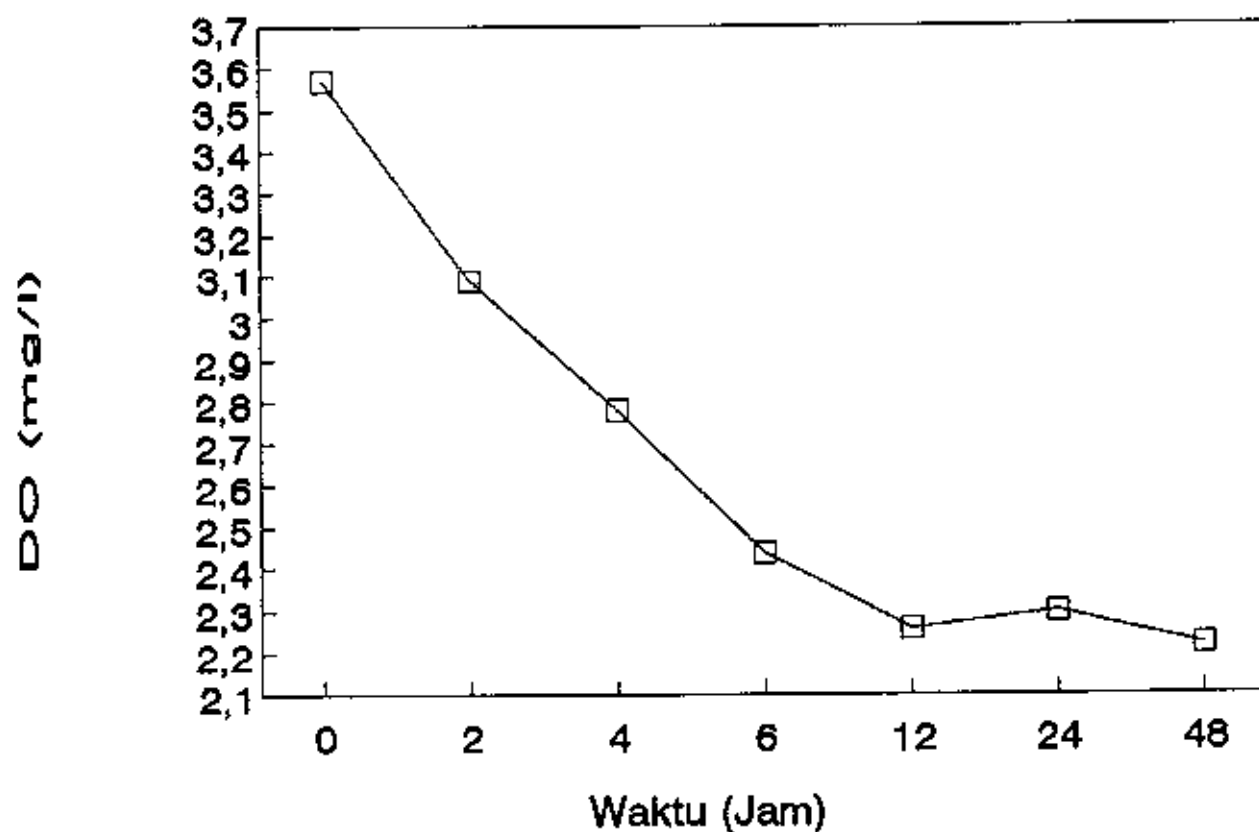
MLVSS (mg/l)

Grafik 4.13b. Pertumbuhan m.o



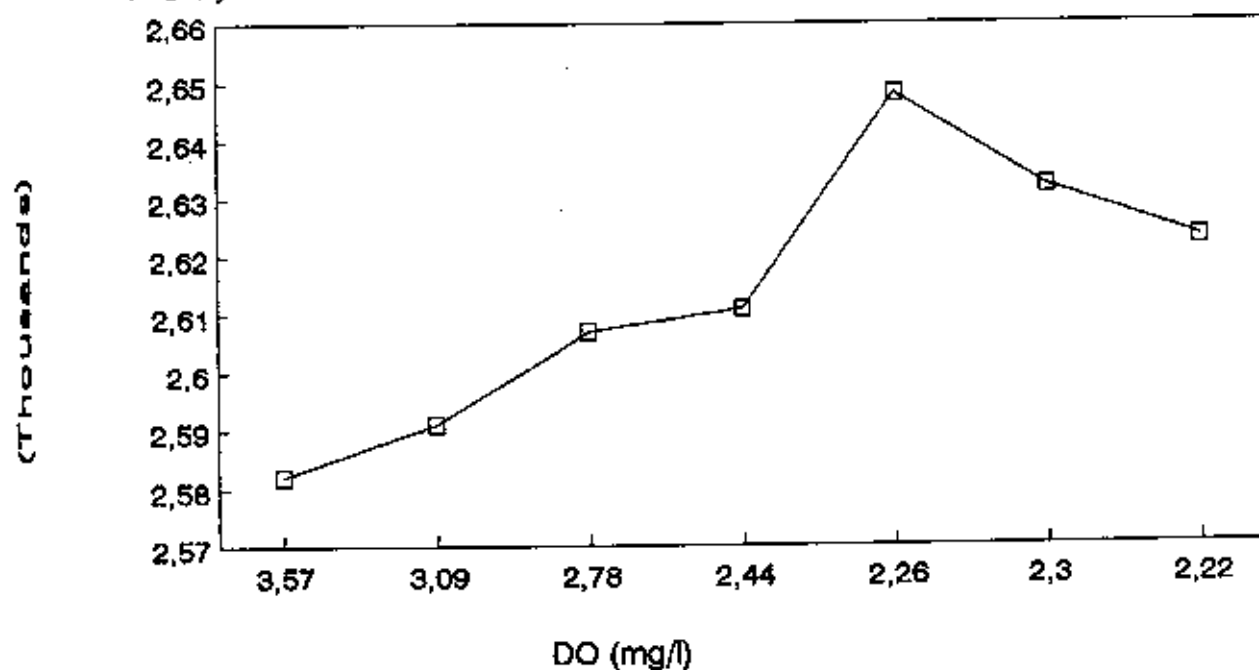
BOD:N:P = 100:10:1

Grafik 4.14a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 1 6 l/menit



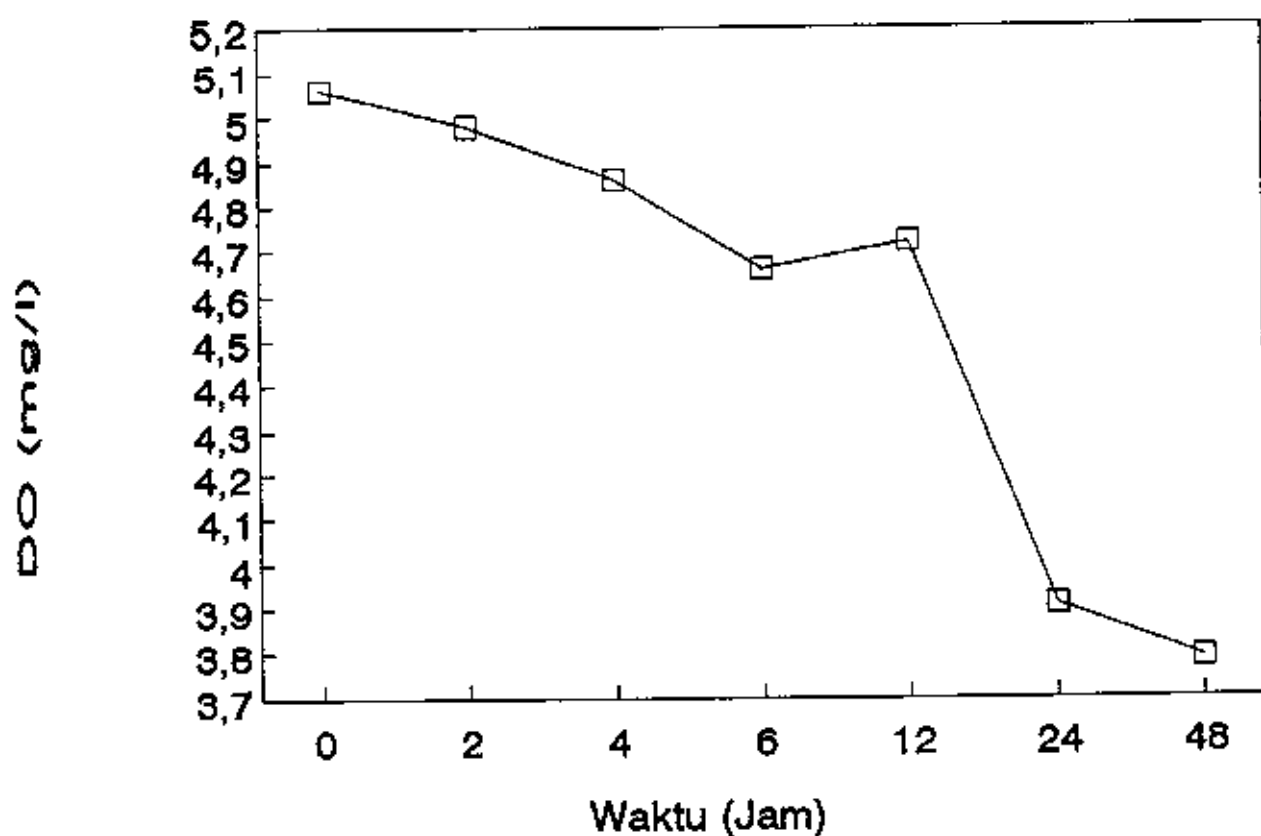
MLVSS (mg/l )

Grafik 4.14b. Pertumbuhan m.o



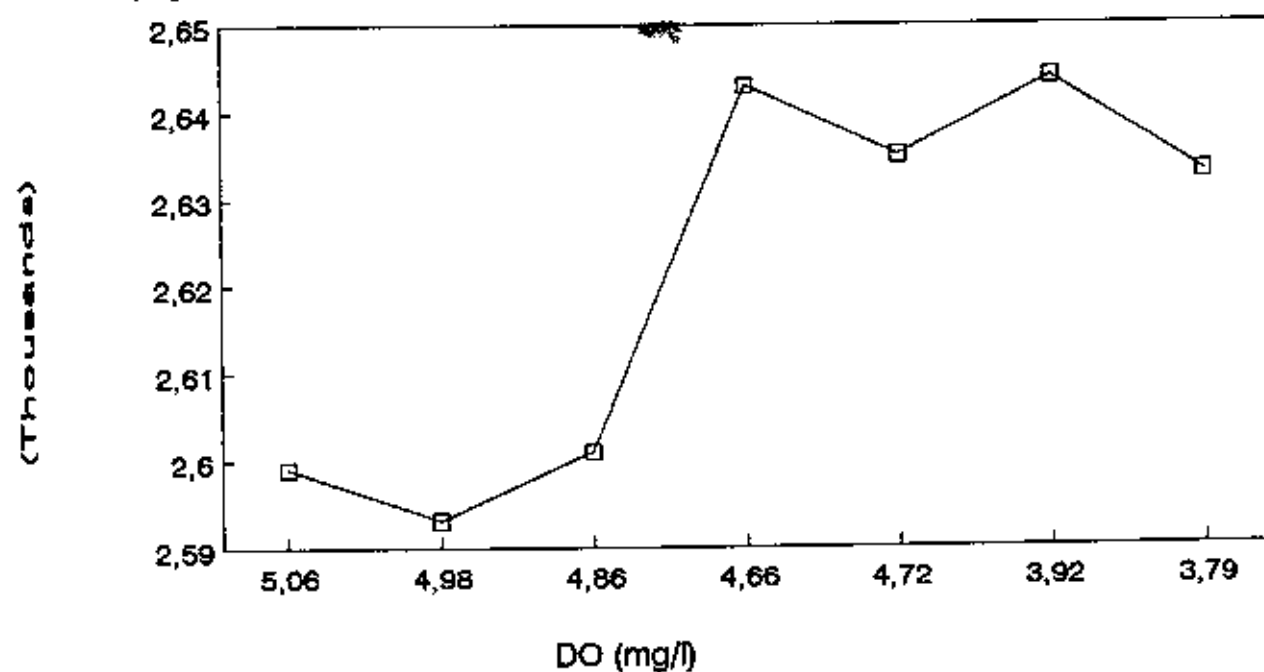
BOD:N:P = 100:10:1

Grafik 4.15a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 10 l/menit



MLVSS (mg/l)

Grafik 4.15b. Pertumbuhan m.o



BOD:N:P = 100:10:1

Sedangkan pada penelitian ini faktor-faktor yang berhubungan dengan kinetika aerasi dan specific growth rate dari mikroorganisme tidak dibahas.

Sehingga bisa dikatakan (dengan melihat tampilan grafik 4.10, 4.11 dan 4.12) bahwa pada konsentrasi BOD:N:P = 100:5:1 pengambilan oksigen oleh mikroorganisme berlangsung kurang-lebih selama 6 jam, dengan kata lain waktu aerasi optimum pada proses batch ini adalah selama 6 jam, yang ditandai dengan konstannya nilai DO dan MLVSS pada waktu > 6jam.

Selanjutnya data hasil penelitian untuk perbandingan BOD:N:P = 100:10:1 dapat dilihat pada tabel 4.8, dan grafik 4.13a serta 4.13b menunjukkan penggunaan oksigen dan pertumbuhan biomassa.

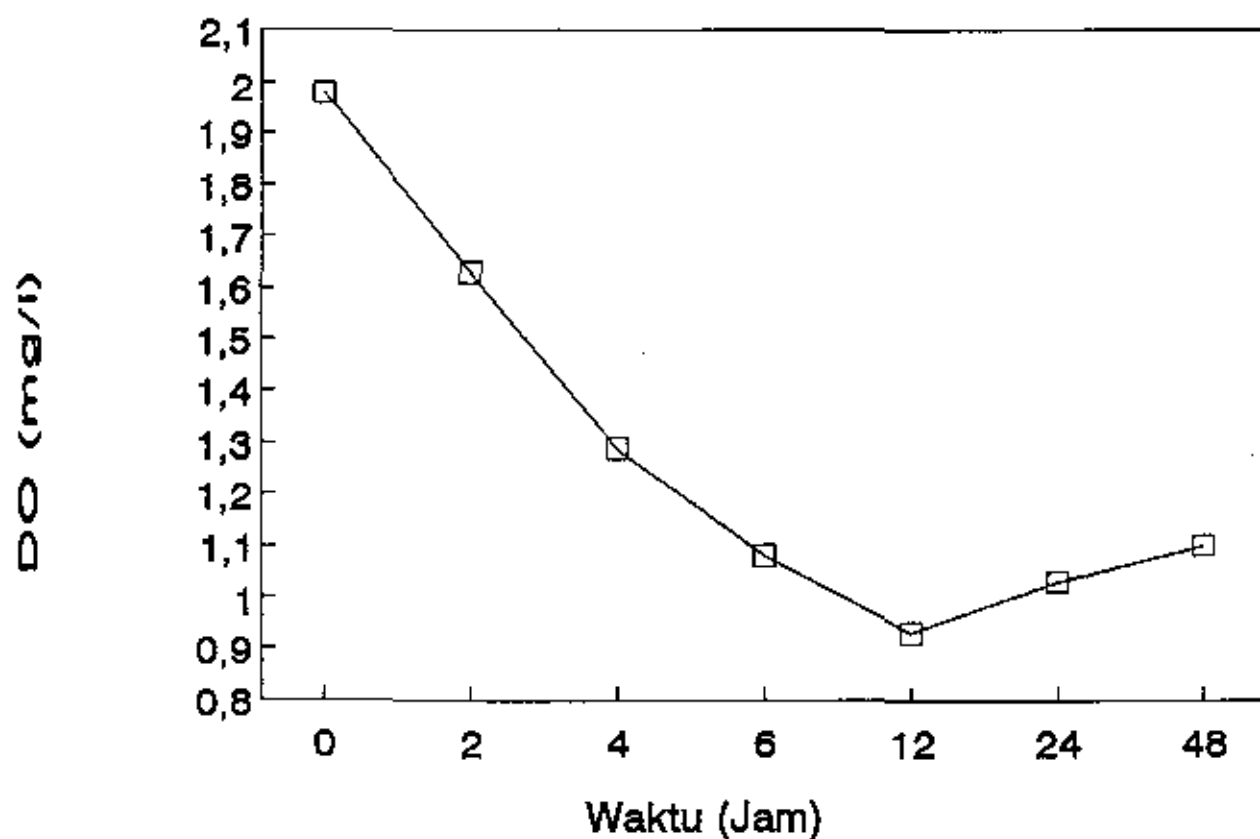
Secara umum dapat dilihat bahwa penurunan konsentrasi DO mendekati konstan pada saat waktu aerasi berjalan sekitar 12 jam. Sama halnya dengan uraian di atas, pada grafik 4.15a dengan laju aliran udara 10 l/menit kelihatan bahwa penggunaan oksigen tidak begitu cepat pada waktu awal aerasi, sehingga teori "Gas Transfer" masih berlaku.

Dengan melihat hasil penelitian tersebut untuk BOD:N:P = 100:10:1 didapatkan waktu aerasi yang optimum berlangsung sekitar 12 jam dengan melihat konstannya

*Analisa Data*

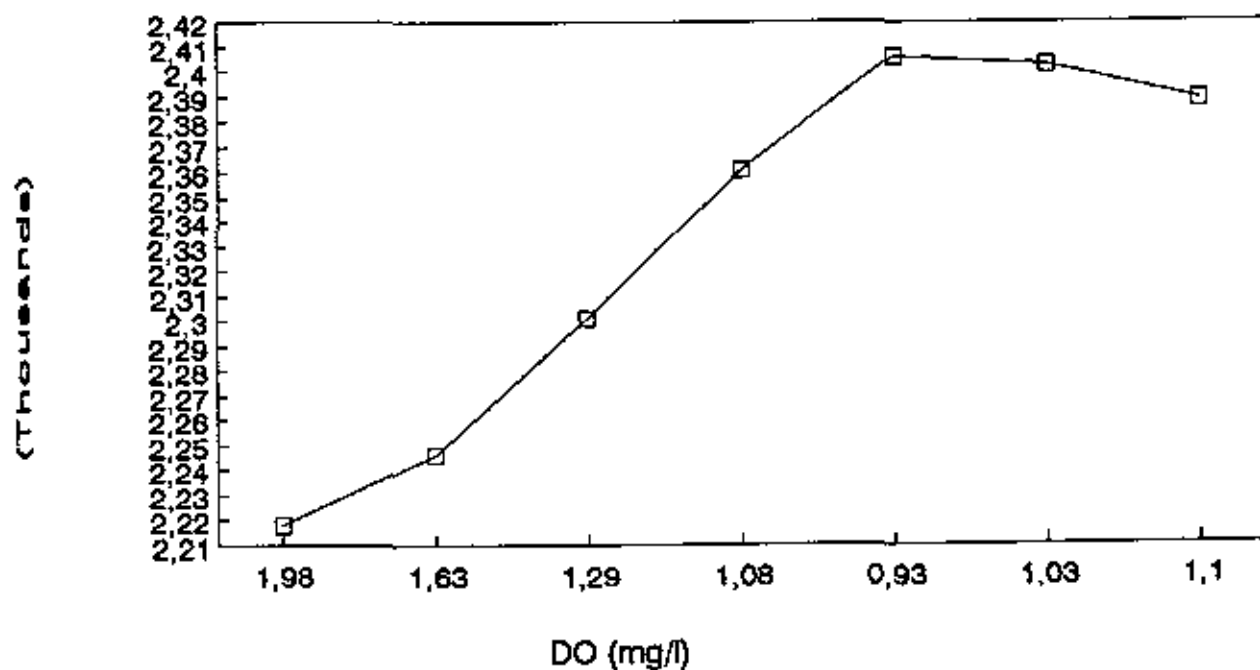


Grafik 4.16a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 4 l/menit



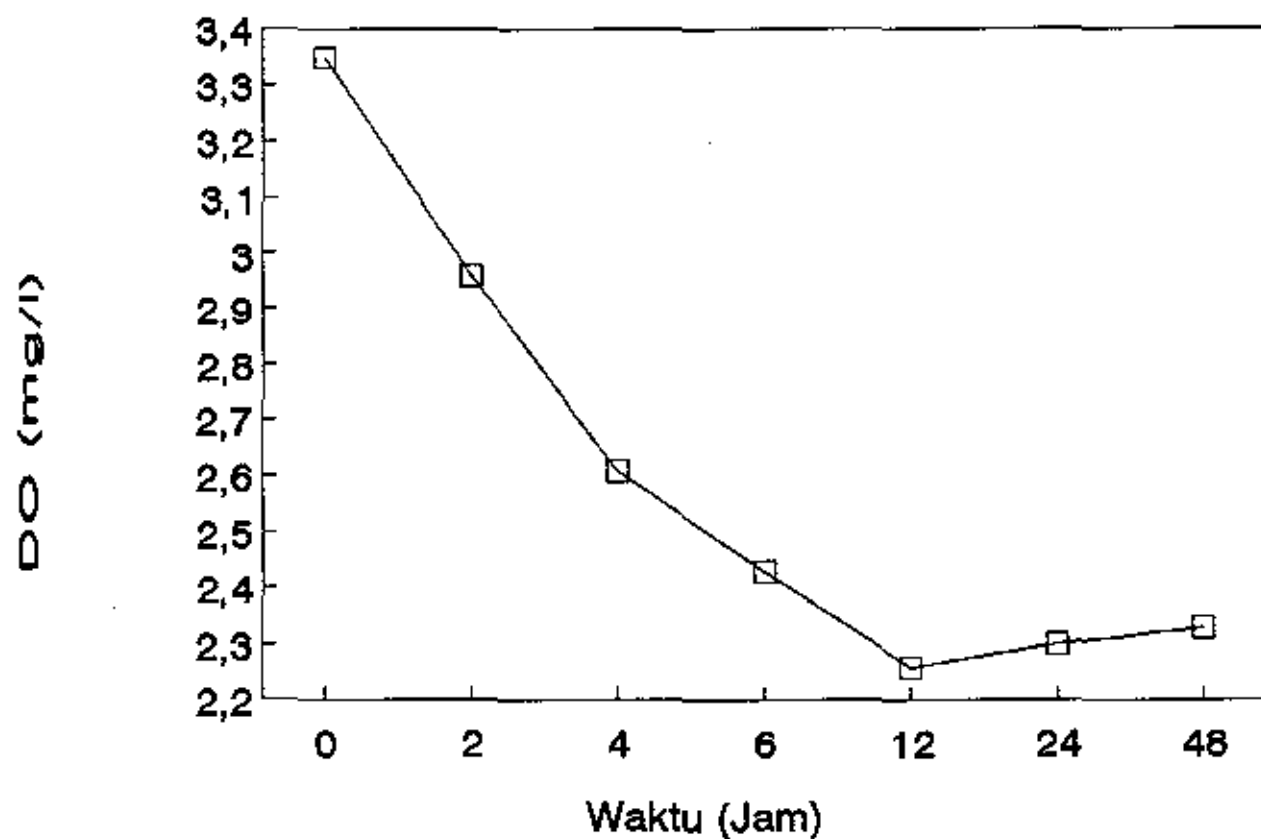
MLVSS (mg/l)

Grafik 4.16b. Pertumbuhan m.o



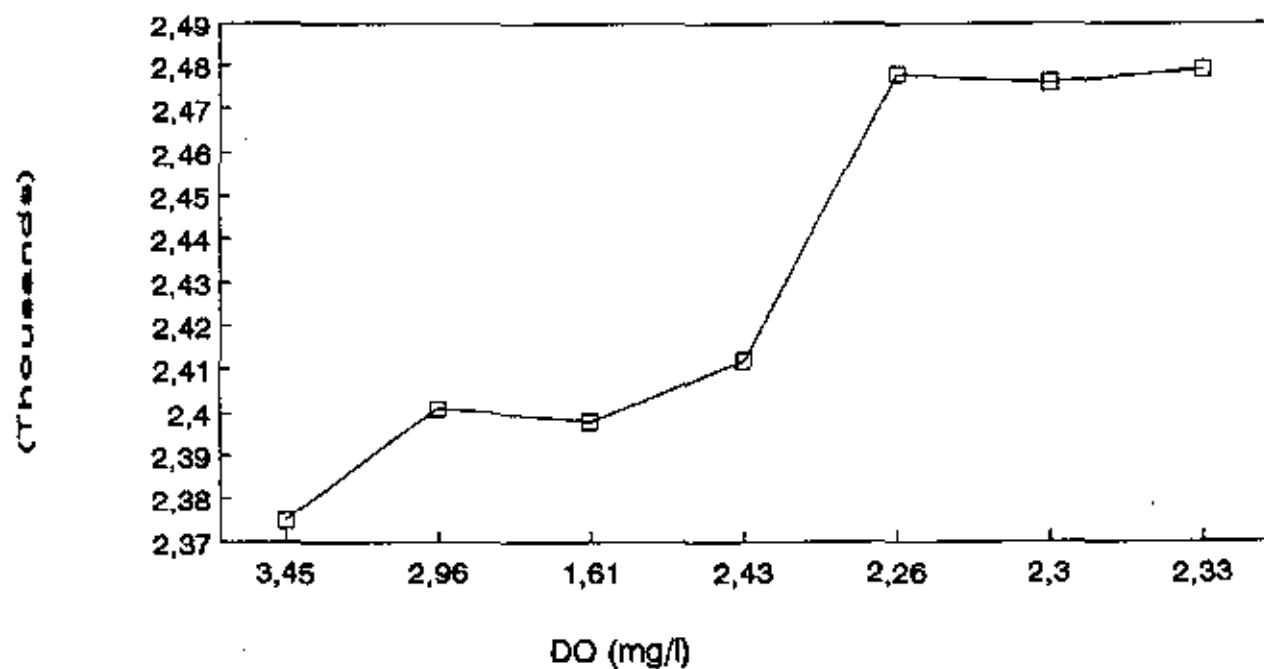
BOD:N:P = 100:20:1

Grafik 4.17a. Oksigen Utilization Rate Pada Q – Udara 6 l/menit



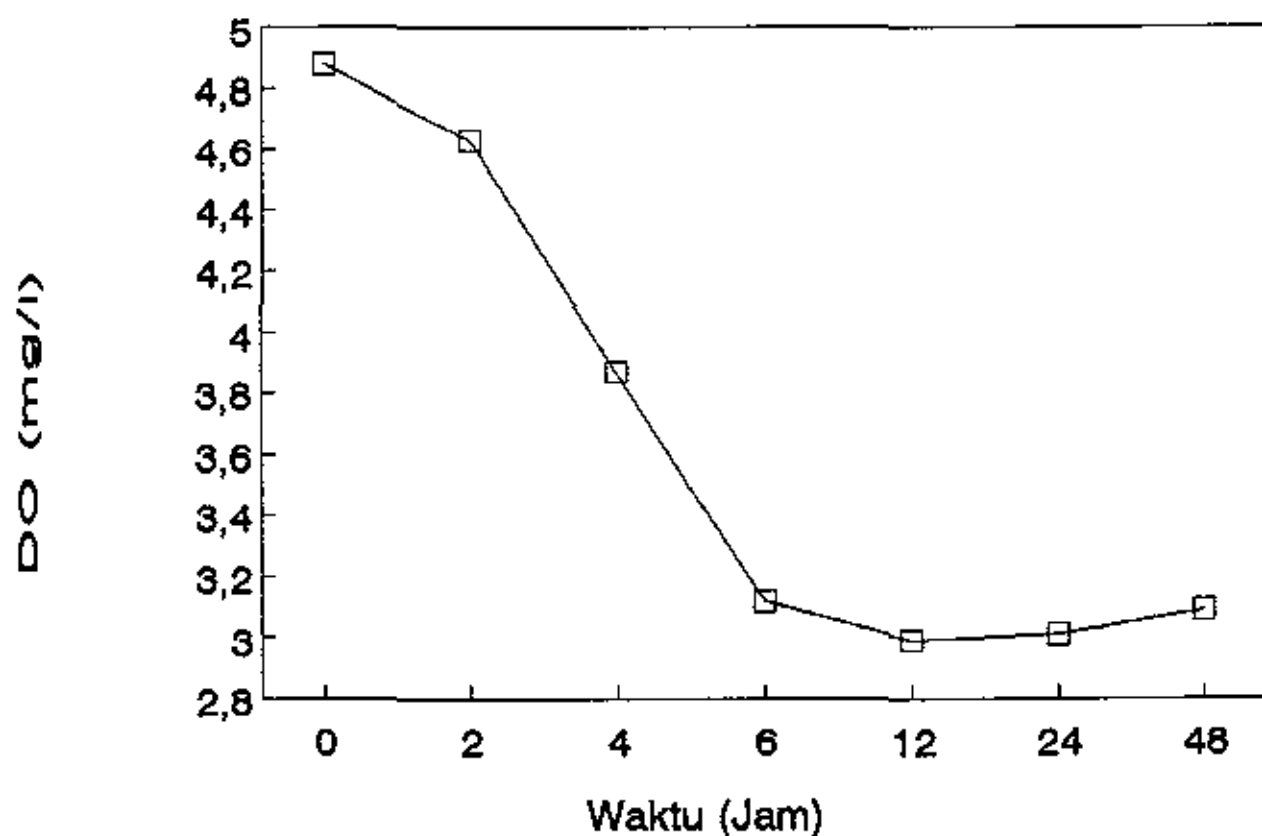
MLVSS (mg/l)

Grafik 4.17b. Pertumbuhan m.o



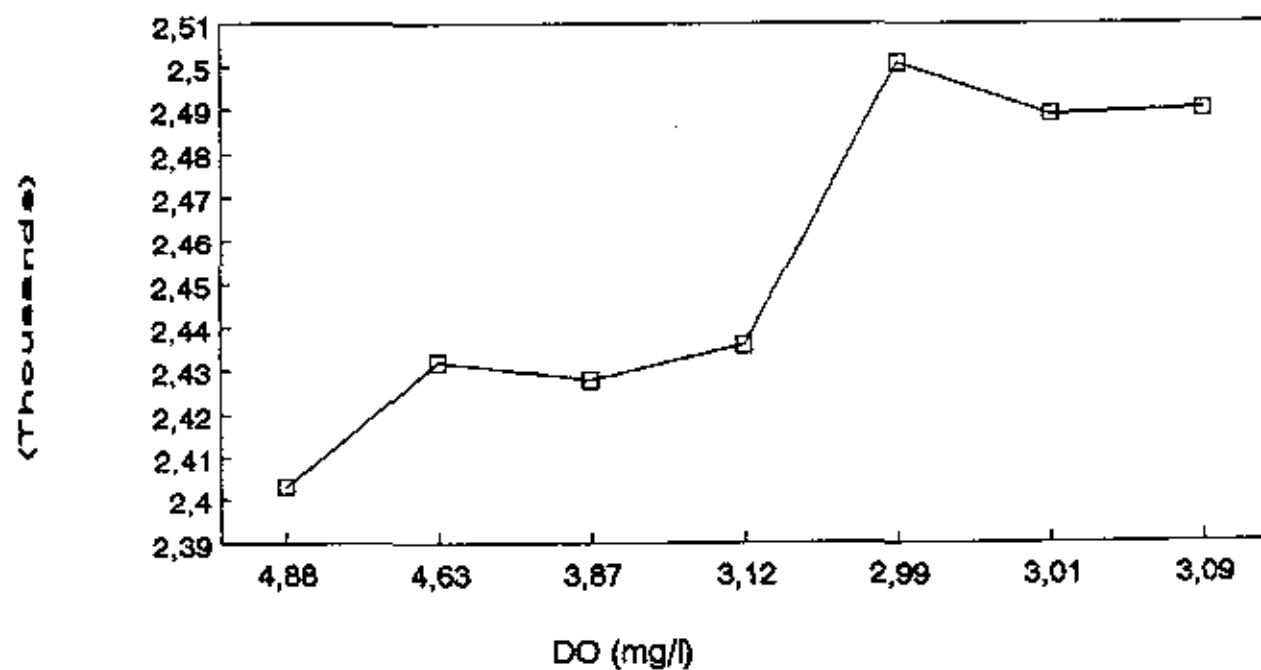
BOD:N:P = 100:20:1

Grafik 4.18a. Oksigen Utilization Rate Pada Q-Udara 10 l/menit



MLVSS (mg/l)

Grafik 4.18b. Pertumbuhan m.o

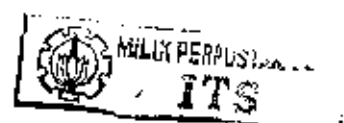


BOD:N:P = 100:20:1

nilai penurunan DO dan kenaikan MLVSS. Hal ini dapat dibenarkan karena semakin besar beban yang akan diolah maka semakin besar DO yang dibutuhkan, yang berhubungan erat dengan waktu aerasi.

Penelitian dengan beban BOD:N:P = 100:20:1 pada berbagai laju aliran udara dapat dilihat pada tabel 4.9 dan grafik 4.16, 4.17 dan 4.18. Ketiga grafik menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu nilai penurunan DO dan pertambahan MLVSS baru terjadi pada saat waktu aerasi berkisar sekitar 12 jam. Sehingga waktu aerasi optimum untuk proses batch dengan BOD:N:P = 100:20:1 adalah selama 12 jam.

*Analisa Data*



## B A B V

### KESIMPULAN DAN SARAN

---

#### 5.1. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dengan variasi debit udara dan konsentrasi influent, maka diperoleh suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya kandungan DO di reaktor sangat dipengaruhi oleh besar-kecilnya debit udara yang diberikan, temperatur dan kondisi air limbah yang akan diolah.
2. Effisiensi penyisihan senyawa ammonium terbaik terjadi pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 yaitu 76 % dengan debit udara yang dibutuhkan adalah sebesar 10 l/menit.
3. Effisiensi nitrifikasi terbaik terjadi pada perbandingan BOD:N:P = 100:20:1 yaitu sebesar 65 %, dengan debit udara yang dibutuhkan adalah sebesar 10 l/menit.

4. Waktu aerasi optimum yang dibutuhkan pada proses nitrifikasi dengan melihat efisiensi pengurangan senyawa ammonium dan nitrifikasi pada berbagai nilai perbandingan BOD:N:P adalah 12 jam.
5. Pada penelitian secara batch proses, kondisi tunak pada perbandingan BOD:N:P = 100:5:1 tercapai pada saat aerasi berlangsung 6 jam, sedangkan untuk perbandingan BOD:N:P = 100:10:1 dan 100:20:1 kondisi tunak tercapai pada saat aerasi berlangsung 12 jam.
6. pH di reaktor dijaga dengan cara menjaga alkalinitas influent, di mana diusahakan untuk mempertahankan pH di reaktor berkisar antara 7 - 8.

## 5.2. SARAN

Setelah melakukan penelitian mengenai debit udara optimum yang dibutuhkan untuk mengolah sebesar  $q$  ml/menit air limbah dengan proses nitrifikasi pada lumpur aktif, maka untuk lebih menyempurnakan penelitian ini disarankan sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi debit udara yang lebih besar dengan konsentrasi N-influent yang lebih besar pula serta debit influent yang berbeda-beda, karena walaupun pada penelitian ini debit udara optimum berkisar pada nilai 10 l/menit.

akan tetapi kondisi ini akan berubah apabila konsentrasi N dan debit influent berbeda.

2. Pada penelitian ini tidak ditinjau kinetika aerasi dan pengaruh debit udara terhadap konstanta kinetika pertumbuhan mikrobiologis mikroba pengolah, untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang hal tersebut.
3. Pada penelitian ini dipakai jenis buble aerator (1 buah aerator), sehingga perlu dilakukan penelitian tentang jenis aerator yang berbeda serta dengan jumlah aerator lebih dari satu untuk melihat pengaruhnya terhadap proses serta hal-hal yang berkaitan dengan kinetika aerasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- 1) Reynold, Tom D., "Unit Operation And Processes In Environmental Engineering", Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California, 1982.
2. De Renzo, D.J., "Nitrogen Control And Phosphorus Removal In Sewage Treatment", Park Ridge, New Jersey, 1978.
3. Benefield, Larry D., Randall, Clifford W., "Biological Process Design for Wastewater Treatment", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1980.
4. Hanaki, Keisuke., Wantawin C., Ogahki, S., "Journal of Environmental Engineering Division", Asian Institut of Technology, Bangkok, Thailand, Januari 1989.
5. Embar, G. Srinath., "Nitrifying Organism Concentration and Activity", journal of The Environmental Engineering Division, 1976.
6. HB Harjono., Irwan Noezar., Muchidin Apandi., Mubiar Purwasasmita., "Diktat Industri Kimia", hal. 148.



7. Popel, H.J. Prof.Dr.Ing., "Aeration And Gas Transfer"  
Technische Hogeschool, Delf, 1983.
8. Metcalf and Eddy., Inc., "Wastewater Engineering  
Treatment Disposal & Reuse", Tata Mc.Graw Hill  
Publishing Company Ltd., New Delhi, 1979.
9. Sundstrom, Donald W., E. Klei, Herbert., "Wastewater  
Treatment", Department of Chemical Engineering, The  
University of Connecticut, Prentice Hall, Inc.,  
Englewoos Cliffs, New Jersey, 1979.
10. Ramalho, R.S., "Introduction to Wastewater Treatment  
Processes", Academic Press, New York, San Franscisco,  
London, 1977.
11. Wahyono Hadi, Dr.Ir.MSc., "Penerapan Parameter Desain  
dan Unjuk Kerja Proses Pengolahan Limbah Industri  
Pupuk Urea", Pusat Penelitian Institut Teknologi  
Sepuluh Nopember, Surabaya, 1992.
12. Anthony F. Gaudy,Jr., Elizabeth T.Gaudy., "Microbiology  
for Environmetal Scientist Engineers", Mc. Graw Hill  
International Book Company, San Juan, 1981.